



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

REGULACE VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ

STREET LIGHTING CONTROL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Kořenek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Štěpánek

BRNO 2017

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Jan Kořenek

ID: 173681

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Regulace veřejného osvětlení

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Vypracování uceleného přehledu v současné době používaných regulačních systémů pro veřejné osvětlení
2. Návrh regulace pro veřejné osvětlení s různými typy světelných zdrojů
3. Praktické měření navrženého systému

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 5.6.2017

Vedoucí práce: Ing. Jaroslav Štěpánek

Konzultant:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

Bibliografická citace práce:

KOŘENEK, J. *Regulace veřejného osvětlení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 65 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Štěpánek.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

.....

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se v teoretické části zabývá obecně vznikem světla, jeho vlastnostmi a světelně technickými veličinami. Také jsou zde charakterizovány v praxi nejčastěji používané světelné zdroje při regulaci veřejného osvětlení. Dále jsou zde popsány základy veřejného osvětlení, typy regulací a v současné době používané systémy regulace.

Další část této práce je zaměřena na praktickou regulaci různých typů světelných zdrojů a sledování jejich několika parametrů jako jsou světelný tok, výkon, účinnost nebo teplota chromatičnosti, při snižování napájecího napětí. Jedná se o vysokotlaké sodíkové výbojky, halogenidovou výbojku, zářivku a vysokotlakou rtuťovou výbojku. Výstupem z každého měření jsou křížové charakteristiky, kde lze procentuálně sledovat chování parametrů světelných zdrojů při snižování napájecího napětí.

Následnou částí je regulace veřejného osvětlení přímo v praxi, v obci Bezděkov nedaleko Havlíčkova Brodu, kde byl zapojen stmívač. Na ulici se vytvořila síť bodů podle normy. Luxmetrem byly v těchto bodech změřeny hodnoty intenzity osvětlení pro napětí 230 V a poté i pro zregulované hodnoty napětí, a to 210 V a 190 V. Poté byly zpracovány a byly z nich určeny průměrná a minimální hodnota intenzity osvětlení, které byly porovnány s normou.

KLÍČOVÁ SLOVA: světelný zdroj; regulace; stmívač; veřejné osvětlení; intenzita osvětlení; křížová charakteristika; vysokotlaká sodíková výbojka; zářivka; rtuťová vysokotlaká výbojka; halogenidová výbojka

ABSTRACT

This bachelor thesis deals in a theoretical part with the origin of the light, his features and lighttechnical quantities. There are also characterized light sources, which are currently most used to control street lighting. There are further described basics of the street light and currently most used ways of street lighting control.

Further part of this thesis is focused on practical control of different types of light sources and monitoring their parameters, such as luminous flux, power, efficiency or correlated colour temperature during voltage reduction. These light sources are high pressure sodium lamps, halogenid lamp, fluorescent lamp and high pressure mercury lamp. Main conclusion from measurements are several cross characteristics, where is possible to monitor behavior of the parameters during voltage reduction.

The last part concerned about practical street lighting control in Bezděkov, which is a village located near Havlíčkův Brod. There was connected the dimmer. On the street was created net of points according to the standard. In these points were measured illuminance for voltage 230 V and then for lower voltages 210 V and 190 V. These values were processed and average and minimum value was compared with the value defined in the standard.

KEY WORDS:

light source; control; dimmer; street lighting; illuminance; cross characteristics; high pressure sodium lamp; fluorescent lamp; high pressure mercury lamp; halogenid lamp

Poděkování

Děkuji mému vedoucímu práci Ing. Jaroslavu Štěpánkovi za akademickou, odbornou pomoc a také za mnoho užitečných rad ohledně problematiky daného tématu. Děkuji mu také za možnosti měření ve světlené laboratoři, poskytnutí světelných zdrojů a všeho potřebného k vypracování této práce. Děkuji také panu Ing. Vojtěchu Wasserbauerovi za pomoc a zařizování při praktickém měření v obci Bezděkov. Dále bych také chtěl poděkovat rodině, jenž mi při psaní této práce poskytla klidné a pohodové prostředí.

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	9
SEZNAM TABULEK	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	12
1 ÚVOD.....	14
2 ZÁŘENÍ.....	15
2.1 SVĚTELNÉ ZÁŘENÍ	15
3 SVĚTELNĚ TECHNICKÉ VELIČINY.....	17
3.1 SVĚTELNÝ TOK.....	17
3.2 SVÍTIVOST	18
3.3 OSVĚTLENOST.....	18
3.4 JAS	19
3.5 SVĚTLENÍ.....	19
3.6 PROSTOROVÝ ÚHEL	19
4 SVĚTELNÉ ZDROJE	21
4.1 PARAMETRY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	21
4.1.1 SVĚTELNÝ TOK Φ (lm).....	21
4.1.2 (NÁHRADNÍ) TEPLOTA CHROMATIČNOSTI T_C (K).....	21
4.1.3 MĚRNÝ VÝKON M_Z (lm/W).....	22
4.1.4 INDEX PODÁNÍ BAREV R_A (-).....	22
4.1.5 ŽIVOTNOST SVĚTELNÉHO ZDROJE (h)	22
4.2 ROZDĚLENÍ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	23
4.2.1 TEPLOTNÍ SVĚTELNÉ ZDROJE	23
4.2.2 VÝBOJOVÉ SVĚTELNÉ ZDROJE	25
4.2.3 NÍZKOTLAKÉ VÝBOJKY	26
4.2.4 VYSOKOTLAKÉ VÝBOJOVÉ ZDROJE.....	29
4.2.5 ELEKTRO-LUMINISCENČNÍ SVĚTELNÉ ZDROJE	33
5 VEŘEJNÉ OSVĚTLENÍ.....	36
5.1 REGULACE VO.....	36
5.1.1 FÁZOVÁ REGULACE	36
5.1.2 AMPLITUDOVÁ REGULACE.....	37
5.1.3 INDIVIDUÁLNÍ REGULACE	37
5.1.4 SKUPINOVÁ REGULACE	38
5.2 SYSTÉMY POUŽÍVANÉ PŘI REGULACI VO	38
5.2.1 SYSTÉM 1-10 V	38
5.2.2 DALI	39
5.2.3 INTEGRATED DYNADIMMER	40
5.2.4 GMS (Z FRANC. GROUP SPÉCIAL MOBILE)	41
5.2.5 ASTRO HODINY	42
5.2.6 POWERLINE COMMUNICATIONS (PLC)	42

6	REGULACE SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	44
6.1	VYSOKOTLAKÁ SODÍKOVÁ VÝBOJKA	44
6.1.1	SCHÉMA ZAPOJENÍ	44
6.1.2	TABULKY NAMĚŘENÝCH A VYPOČÍTANÝCH HODNOT	45
6.1.3	SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN	45
6.1.4	PŘÍKLADY VÝPOČTŮ	46
6.1.5	GRAFICKÉ ZPRACOVÁNÍ	46
6.2	VYSOKOTLAKÁ RTUŤOVÁ VÝBOJKA	46
6.2.1	SCHÉMA ZAPOJENÍ	47
6.2.2	TABULKY NAMĚŘENÝCH A VYPOČTENÝCH HODNOT	47
6.2.3	SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN	47
6.2.4	PŘÍKLADY VÝPOČTŮ	48
6.2.5	GRAFICKÉ ZPRACOVÁNÍ	48
6.3	ZÁŘIVKA	49
6.3.1	SCHÉMA ZAPOJENÍ	49
6.3.2	TABULKY NAMĚŘENÝCH A VYPOČTENÝCH HODNOT	49
6.3.3	SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN	50
6.3.4	PŘÍKLADY VÝPOČTŮ	50
6.3.5	GRAFICKÉ ZPRACOVÁNÍ	51
6.4	SODÍKOVÁ VYSOKOTLAKÁ VÝBOJKA (NÁHRADA RTUŤOVÉ VYSOKOTLAKÉ)	51
6.4.1	SCHÉMA ZAPOJENÍ	51
6.4.2	TABULKY NAMĚŘENÝCH A VYPOČTENÝCH HODNOT	52
6.4.3	SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN	52
6.4.4	PŘÍKLADY VÝPOČTŮ	52
6.4.5	GRAFICKÉ ZPRACOVÁNÍ	53
6.5	HALOGENIDOVÁ VÝBOJKA	53
6.5.1	SCHÉMA ZAPOJENÍ	53
6.5.2	TABULKY NAMĚŘENÝCH A VYPOČTENÝCH HODNOT	54
6.5.3	SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN	54
6.5.4	PŘÍKLADY VÝPOČTŮ	55
6.5.5	GRAFICKÉ ZPRACOVÁNÍ	55
6.6	REGULACE VYSOKOTLAKÝCH SODÍKOVÝCH VÝBOJEK V OBCI BEZDĚKOV	56
6.6.1	SCHÉMA ZAPOJENÍ	56
6.6.2	NORMY	56
6.6.3	NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY:	58
6.6.4	PŘÍKLADY VÝPOČTŮ	61
7	ZÁVĚR	62
	POUŽITÁ LITERATURA	64

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK Č. 2-1 – ROZLOŽENÍ BAREV VE VIDITELNÉM SPEKTRU ZÁŘENÍ [6].....	16
OBRÁZEK Č. 3-1 – POMĚRNÁ SPEKTRÁLNÍ CITLIVOST ZRAKU POZOROVATELE [6]	17
OBRÁZEK Č. 3-2 – DEFINICE OSVĚTLENOSTI BODOVÉHO ZDROJE [6].....	18
OBRÁZEK Č. 3-3 – VYMEZENÍ PROSTOROVÉHO ÚHLU [6].....	20
OBRÁZEK Č. 4-1 – TEPLOTA CHROMATIČNOSTI [6].....	21
OBRÁZEK Č. 4-2 – ROZDĚLENÍ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ [6].....	23
OBRÁZEK Č. 4-3 – OBYČEJNÁ ŽÁROVKA [6].....	24
OBRÁZEK Č. 4-4 – OSRAM HALOGEN CLASSIC A, 20 W, PATICE E27 [7].....	25
OBRÁZEK Č. 4-5 – OSRAM TRUBICOVÁ ZÁŘIVKA T8, 26 MM, S PATICEMI G13, 10 W [7].....	27
OBRÁZEK Č. 4-6 – OSRAM DULUX KOMPAKTNÍ ZÁŘIVKA S INTEGROVANÝM PŘEDŘADNÍKEM, 11 W [7].....	27
OBRÁZEK Č. 4-7 – ZÁVISLOST MĚRNÉHO VÝKONU NA TLAKU SODÍKOVÝCH PAR [5]	28
OBRÁZEK Č. 4-8 – HALOGENIDOVÁ VÝBOJKA S KŘEMENNÝM HOŘÁKEM, HQI-T, 70 W [7]31	
OBRÁZEK Č.4-9 – HALOGENIDOVÁ VÝBOJKA S KERAMICKÝM HOŘÁKEM HCI-T, 35 W [7] 32	
OBRÁZEK Č. 4-10 – VYSOKOTLAKÁ SODÍKOVÁ VÝBOJKA NAV-T SUPER G4, 50 W [7]	33
OBRÁZEK Č. 4-11 – OSRAM LED STAR CLASSIC A60, 8 W, E27 [7]	34
OBRÁZEK Č. 5-1 – ZMĚNA EFEKTIVNÍ HODNOTY NAPĚTÍ POMOCÍ FÁZOVÉ REGULACE, SYSTÉM AWI VLEVO, SYSTÉM NCWI VPRAVO [6].....	37
OBRÁZEK Č. 5-2 – KŘIVKA SVĚTELNÉHO TOKU V ZÁVISLOSTI NA NAPĚTÍ SIGNÁLU, NORMA IEC 60929 [10]	39
OBRÁZEK Č. 5-3 –REGULAČNÍ KŘIVKA SYSTÉMU DALI PODLE NORMY IEC 62386 [10]	39
OBRÁZEK Č. 5-4 – SCHÉMA STMÍVÁNÍ POMOCÍ SYSTÉMU DALI [10].....	40
OBRÁZEK Č. 5-5 – NASTAVENÍ VIRTUÁLNÍHO ČASU SYSTÉMU DYNANDIMMER [11].....	40
OBRÁZEK Č. 5-6 - XITANIUM PROGRAMOVATELNÝ LED DRIVER PHILIPS, 75 W [11]	41
OBRÁZEK Č. 5-7 – SCHÉMA FUNGOVÁNÍ GMS REGULACE [12]	41
OBRÁZEK Č. 5-8 – RŮZNÁ PROVEDENÍ ASTRO HODIN [13]	42
OBRÁZEK Č. 5-9 – PŘÍKLAD TYPICKÉ SÍTĚ VEŘEJNÉHO OSVĚTLENÍ ŘÍZENÉ POMOCÍ PLC [14].....	43
OBRÁZEK Č. 6-1 – SCHÉMA ZAPOJENÍ VT SODÍKOVÉ VÝBOJKY PŘI REGULACI NAPÁJECÍHO NAPĚTÍ.....	44
OBRÁZEK Č. 6-2 - KŘÍŽOVÁ CHARAKTERISTIKA VYSOKOTLAKÉ SODÍKOVÉ VÝBOJKY, OSRAM 70 W.....	46

OBRÁZEK Č. 6-3 – SCHÉMA ZAPOJENÍ VT RTUŤOVÉ VÝBOJKY PŘI REGULACI NAPÁJECÍHO NAPĚTÍ	47
OBRÁZEK Č. 6-4 – KŘÍŽOVÁ CHARAKTERISTIKA VYSOKOTLAKÉ RTUŤOVÉ VÝBOJKY, PHILLIPS 80 W.....	48
OBRÁZEK Č. 6-5 – SCHÉMA ZAPOJENÍ ZÁŘIVKY PŘI REGULACI NAPÁJECÍHO NAPĚTÍ	49
OBRÁZEK Č. 6-6 – KŘÍŽOVÁ CHARAKTERISTIKA ZÁŘIVKY, 36 W OSRAM	51
OBRÁZEK Č. 6-7 – SCHÉMA ZAPOJENÍ VT SODÍKOVÉ VÝBOJKY PŘI REGULACI NAPÁJECÍHO NAPĚTÍ.....	51
OBRÁZEK Č. 6-8 – KŘÍŽOVÁ CHARAKTERISTIKA VT SODÍKOVÉ VÝBOJKY, 68 W OSRAM ..	53
OBRÁZEK Č. 6-9 – SCHÉMA ZAPOJENÍ PŘI REGULACI HALOGENIDOVÉ VÝBOJKY	53
OBRÁZEK Č. 6-10 – KŘÍŽOVÁ CHARAKTERISTIKA HALOGENIDOVÉ VÝBOJKY, OSRAM 100 W POWERSTAR.....	55
OBRÁZEK Č. 6-11 – SCHÉMA ZAPOJENÍ PRO MĚŘENÍ V OBCI BEZDĚKOV	56
OBRÁZEK Č. 6-12 – ZNÁZORNĚNÍ VÝPOČTOVÝCH BODŮ PRO MĚŘENOU ULICI, PODLE [17]	60

SEZNAM TABULEK

TABULKA Č. 4-1 – TEPLoty CHROMATIČNOSTI RŮZNÝCH SVĚTELNÝCH ZDROJŮ [6].....	21
TABULKA Č. 4-2 – PŘEHLED MĚRNÝCH VÝKONŮ BĚŽNĚ PRODÁVANÝCH SVĚTELNÝCH ZDROJŮ [6]	22
TABULKA Č. 4-3 - ORIENTAČNÍ DÉLKY ŽIVOTA VYBRANÝCH SVĚTELNÝCH ZDROJŮ [6] ..	23
TABULKA Č. 6-1 - NAMĚŘENÉ A VYPOČÍTANÉ HODNOTY Z MĚŘENÍ REGULACE VT SODÍKOVÉ VÝBOJKY	45
TABULKA Č. 6-2 - PŘEPOČÍTANÉ HODNOTY Z TABULKY Č. 6-1 NA HODNOTY RELATIVNÍ	45
TABULKA Č. 6-3 – HODNOTY Z MĚŘENÍ VYSOKOTLAKÉ RTUŤOVÉ VÝBOJKY	47
TABULKA Č. 6-4 – PŘEPOČÍTANÉ HODNOTY Z TABULKY Č. 6-3 NA HODNOTY RELATIVNÍ	47
TABULKA Č. 6-5 – NAMĚŘENÉ A VYPOČTENÉ HODNOTY Z MĚŘENÍ ZÁŘIVKY	49
TABULKA Č. 6-6 – PŘEPOČTENÉ HODNOTY Z TABULKY Č. 6-5 NA HODNOTY RELATIVNÍ	49
TABULKA Č. 6-7 – NAMĚŘENÉ A VYPOČTENÉ HODNOTY Z MĚŘENÍ REGULACE VT SODÍKOVÉ VÝBOJKY	52
TABULKA Č. 6-8 – PŘEPOČÍTANÉ HODNOTY Z TABULKY Č. 6-7 NA HODNOTY RELATIVNÍ	52
TABULKA Č. 6-9 – NAMĚŘENÉ A VYPOČTENÉ HODNOTY Z MĚŘENÍ REGULACE HALOGENIDOVÉ VÝBOJKY	54
TABULKA Č. 6-10 – PŘEPOČTENÉ HODNOTY Z TABULKY Č. 6-9 NA RELATIVNÍ HODNOTY	54
TABULKA Č. 6-11 – HODNOTY OSVĚTLENOSTI PRO TŘÍDY OSVĚTLENÍ S [16]	57
TABULKA Č. 6-12 – NAMĚŘENÉ HODNOTY INTENZITY OSVĚTLENÍ PRO NAPĚTÍ 230 V	58
TABULKA Č. 6-13 – NAMĚŘENÉ HODNOTY INTENZITY OSVĚTLENÍ PRO NAPĚTÍ 210 V	59
TABULKA Č. 6-14 – NAMĚŘENÉ HODNOTY INTENZITY OSVĚTLENÍ PRO NAPĚTÍ 190 V	59

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

λ	vlnová délka	m
η	účinnost předradníku	%
ϕ	světelný tok	lm
c	rychlost světla	m/s
dA	element plochy	m ²
$d\Omega$	prostorový úhel	sr
$d\Omega_e$	ekvivalentní prostorový úhel	sr
d	rozteč mezi body v příčném směru	m
D	rozteč mezi body v podélném směru	m
E	intenzita osvětlení (osvětlenost)	lx
E_{PR}	průměrná hodnota intenzity osvětlení	lx
E_{min}	minimální intenzita osvětlení	lx
f	frekvence (kmitočet)	Hz
I	svítivost	cd
K	kontrast jasu	-
l	vzdálenost	m
L	jas	cd/m ²
M	světlení	lm/m ²
m_z, η	měrný výkon zdroje	lm/W
n	počet výpočtových bodů v příčném směru	-
N	počet výpočtových bodů v podélném směru	-
P_C	celkový příkon	W
P_0	příkon výbojky	W
$P_{0\dot{z}}$	příkon žárovky	W
P_{0Z}	příkon zářivky	W
P_S	celkový příkon soustavy	W
r	poloměr koule	m
r	rovnoměrnost osvětlení	-
R_a	index podání barev	-
S	rozteč svítidel	m
T_c	(náhradní) teplota chromatičnosti	K
U	napětí sítě	V

$u_S(t)$	sinusový průběh napětí sítě	V
$u_{VR}(t)$	upravený průběh napětí sítě při regulaci	V
W_r	šířka komunikace	m
-	životnost světelného zdroje	h
Al_2O_3	korund, oxid hlinitý	
AWI	Adaptive Waveform Intersection	
CIE	Mezinárodní komise pro osvětlování	
ČSN	Česká soustava norem	
DALI	Digital Addressable Lighting Interface – Digitální světelné rozhraní	
GSM	Groupe Spécial Mobile – Globální systém pro mobilní komunikaci	
IR	infračervené (infrared) záření	
LED	světlo emitující dioda (light emitting diode)	
NCWI	Non-Critical Waveform Intersection	
PLC	Powerline Communications	
UV	ultrafialové záření (ultraviolet lighting)	
VO	veřejné osvětlení	
VT	vysokotlaká	

1 ÚVOD

Veřejné osvětlení má u nás v republice i téměř v celém světě velký význam. Nejen že poskytuje viditelnost v nočních hodinách pro občany velkoměsta, obce nebo pouhé osady v lesích, slouží také k bezpečnosti na dopravních komunikacích. Je tedy jasné, že se k navrhování a realizaci osvětlení musí přikládat velký význam. Je potřeba osvětlení navrhnout takovým stylem, aby poskytnulo právě dostatečnou hladinu osvětlení pro viditelnost, ovšem na druhou stranu zase nesmí oslňovat (například řidiče, jedoucí přes obec).

Velký vliv v poslední době také hraje vliv osvětlení na životní prostředí. Proto už se pomalu zakazuje používání vysokotlakých rtuťových výbojek kvůli obsahu rtuti nebo obyčejných žárovek kvůli špatné účinnosti přeměny elektrické energie na energii světelnou. Často se navrhuje osvětlovací soustavy s LED světelnými zdroji, které dokážou držet stabilněji hodnoty světelného toku a také jsou vhodné i pro regulaci VO. Tyto zdroje ovšem zatím nejsou prověřené časem, tak můžeme zatím jen odhadovat, jak budou ve skutečnosti reagovat na stárnutí a opotřebení.

Další pohled na věc je určitě přes peníze. Člověk chce samozřejmě čím dál tím lepší světelné podmínky i v nočních hodinách, nejlépe co nejlevněji. Nejčastěji to platí v městech. Naopak v menších obcích nejsou veřejná osvětlení v dobrém stavu, jelikož se jim nevyplatí investovat do drahých svítidel nebo stmívačů. Často tam vypínají veřejné osvětlení na několik hodin v nočních hodinách, jelikož tam neprojíždí téměř žádná auta.

2 ZÁŘENÍ

Všeobecně je záření přenos energie prostředím prostřednictvím elektromagnetických vln nebo částic. V moderní době přisuzujeme záření vlnově-korpuskulární charakter, není tedy jasná hranice mezi těmito dvěma přístupy, tj. vlnovým charakterem elektromagnetického záření a korpuskulárním, u něhož je energie přenášena částicemi.

Jelikož se ve světelné technice zkoumá rozložení toků při plynulých přesunech v prostoru, je důležité, aby bylo záření rozložitelné na složky sinusového průběhu. Každou složku poté můžeme definovat pouze jedinou frekvencí nebo vlnovou délkou. Takové záření nazýváme monofrekvenční. Spektrum záření dostáváme tehdy, když vedle sebe dáme složky s různými kmitočty.

Vlnová délka je obecně definována:

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (2.1)$$

kde λ (m) představuje vlnovou délku, c ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) je rychlost světla a f (Hz) je frekvence. [1]

2.1 Světelné záření

V současnosti je pro nás světlo téměř samozřejmostí, ovšem v minulosti tomu tak nebylo. Historie zkoumání světla sahá až do 17. století, kdy se Christian Huygens domníval, že světlo je povahou jako podélné vlnění. Isaac Newton si ale myslel, že světlo je spíše tok částic. Až do 18. století se tedy žilo v domněnku, že světlo má korpuskulární (částicový) charakter. V 19. století se nicméně prokázalo, že má také vlnový charakter. Ovšem, než se prokázalo to, co dnes již víme, totiž že se vlny projevují také jako proud fotonů, uplynula dlouhá doba. Hodně tomu napomohlo zjištění, že elektrický proud kolem sebe vytváří magnetické pole, čímž se přišlo na to, že elektrina a magnetismus spolu musí souviset.

To otevřelo cestu Jamesi Clerku Maxwellovi, který zformuloval své 4 zákony a přišel na to, že elektromagnetické vlny se shodují s rychlostí světla. Tuto jeho domněnku dokázal až po jeho smrti Hertz.

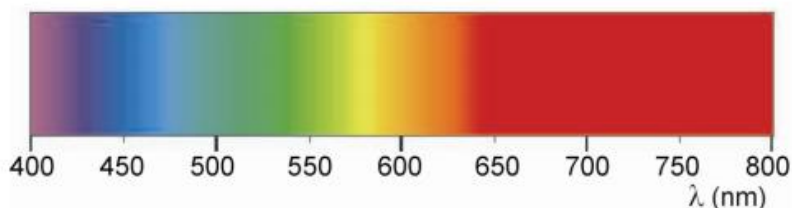
Elektromagnetické vlny tedy přestaly být pouze hypotézou. Jsou to vlastně vektory intenzity elektrického pole a magnetické indukce, které kmitají kolmo na sebe, čímž se navzájem budí.

Vlny ovšem nabývají vlnových délek od 10^{-13} m až po tisíc metrů. Od nejkratších vlnových délek jsou to postupně záření gama, rentgenové záření, ultrafialové záření (UV), poté oblast viditelného světla, následuje infračervené záření (IR), mikrovlnné záření a na nejdelších vlnových délkách to je rozhlasové záření. Rozpětí daných záření ovšem není striktně dané, může se, podle literatury, různě měnit. [2]

Podle vlnové délky se může určit také charakter vln. Delší vlnové délky mají vlnový charakter, tím pádem pro ně platí zákon odrazu, lomu a také interferenční jevy na tenké vrstvě. Naopak kratší vlny jsou povahy částicové neboli je to tok částic (kvazičástic), které Albert Einstein nazval fotony. Pro ty zase platí Comptonův jev nebo fotoelektrický jev.

Fotony UV záření poškozují buňky, čímž jsou nebezpečné pro živé organismy. Země je před tímto škodlivým zářením chráněna atmosférou, která filtruje záření, jenž má menší vlnovou délku, než je 290 nm. Na člověka tedy dopadá hlavně záření z viditelného spektra vlnových délek (ovšem také IR záření). Viditelné spektrum je jen v rozmezí vlnových délek 380 nm – 780 nm. Toto rozpětí

je vlastně pro vnímání záření jako světla lidským okem a liší se nepatrně pro každého člověka. Na obrázku č. 2-1 je zobrazeno rozložení barev právě ve viditelné části spektra. [2]



Obrázek č. 2-1 – Rozložení barev ve viditelném spektru záření [6]

Obecně je tedy světlo elektromagnetické záření, které dokážeme vnímat svým zrakovým orgánem.

Podle vzniku světla rozlišujeme základní čtyři principy:

- tepelné buzení (inkandescence), které vzniká při zahřátí pevné látky na vysokou teplotu
- vybuzení atomu v elektrickém výboji
- luminiscence pevných látek (fotoluminiscence, elektroluminiscence, bioluminiscence)
- emise fotonu při průchodu proudu polovodičem

První typ nám reprezentují halogenové a obyčejné žárovky, energie zde vzniká průchodem elektrického proudu wolframovým vláknem. U druhého typu vzniku světla to jsou nízkotlaké a vysokotlaké výbojové zdroje. Poslední princip poté využívají LED diody, u kterých můžeme využít také luminoforů k transformaci UV záření. [3]

3 SVĚTELNĚ TECHNICKÉ VELIČINY

Při popisu světelného záření je důležité mít sjednocené fyzikální veličiny a jednotky, aby nedocházelo k různým nedorozuměním. Pro světla jsou tyto veličiny určeny Mezinárodní komisí pro osvětlování (CIE). Všechny se vztahují na normálního fotometrického pozorovatele, jelikož každý člověk má individuální vnímání různých vlnových délek světla.

3.1 Světelný tok

Světelná veličina, ekvivalentní k zářivému toku, která určuje, jak moc velký zrakový počinek na lidské oko je schopen zářivý tok způsobit. Jeho jednotkou je lumen a vypočítá se pomocí vztahu:

$$\phi(\lambda) = K(\lambda) \cdot \phi_e(\lambda) = K_m V(\lambda) \cdot \phi_e, \quad (\text{lm; lm/W; - ; W}) \quad (3.1)$$

kde $K(\lambda)$ odpovídá světelnému účinku monochromatického záření, zároveň je to také poměr světelného a zářivého toku. Ovšem obvykle se zadává pomocí veličiny $K_m(\lambda)$, což je maximální hodnota průběhu veličiny $K(\lambda)$ a pomocí $V(\lambda)$, která představuje poměrné světelné účinnosti.

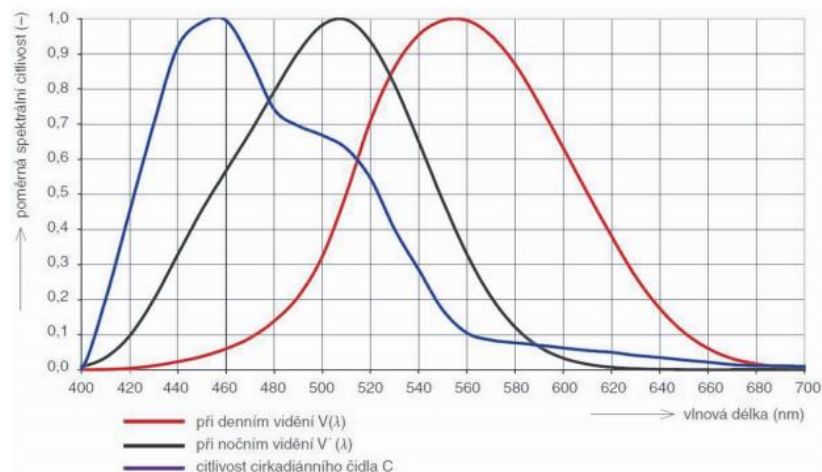
$$K(\lambda) = K_m \cdot V(\lambda) \quad (3.2)$$

V soustavě SI jsou všechny světelné technické jednotky odvozeny od základní jednotky svítivosti kandela (1 cd). To znamená od svítivosti monofrekvenčního záření $f = 540 \text{ THz}$ při zářivosti světelného zdroje ve směru $1/683 \text{ W/sr}$. Z této frekvence poté můžeme vypočítat tzv. základní vlnovou délku λ_m :

$$\lambda_m = \frac{c}{f} = \frac{2,997\,08640 \cdot 10^8}{540 \cdot 10^{12}} \doteq 555 \text{ nm}, \quad (3.3)$$

kde c (m/s) je rychlost světla při normálních podmínkách, tj. teplotě 20°C a tlaku $101,325 \text{ kPa}$ a výpočet rychlosti světla probíhal vydělením rychlosti c_0 a indexu lomu N , který byl mírně větší než 1.

Maximální velikost veličiny $K(\lambda)$ je hodnota $K_m(\lambda)$, která pro vlnovou délku $\lambda = 555 \text{ nm}$ odpovídá u normálního pozorovatele při denním světle hodnotě $K_m = 683 \text{ lm/W}$. Při této vlnové délce má lidské oko největší citlivost na dopadající záření. Samozřejmě pro různé podmínky, které nastávají, se vlnová délka maxima veličiny K_m posunuje. Například při nočním, tzv. skotopickém vidění, dosahuje hodnoty 507 nm . Spektrální citlivost zraku je ovšem i v tomto případě rovna 683 lm/W . Na obrázku č. 3-1 lze vidět právě průběh spektrální citlivosti pro různé podmínky. [1]



Obrázek č. 3-1 – Poměrná spektrální citlivost zraku pozorovatele [6]

3.2 Svítivost

Popisuje distribuci světelného záření do prostoru. Je to vlastně množství světelného toku ϕ , které je vyzářeno v prostorovém úhlu Ω . Jeho jednotkou je jedna ze základních jednotek SI, a to kandela.

Střední svítivost je poté definována jako světelný tok, který je vyzařován v jednotkovém prostorovém úhlu Ω . Vypočteme ji podle vzorce:

$$I = \frac{d\phi}{d\Omega}, \quad (3.4)$$

kde I je svítivost (cd), $d\phi$ je světelný tok (lm) a $d\Omega$ je prostorový úhel, do něhož je světelný tok vyzařován (sr).

Určuje se pro bodový zdroj, což je takový světelný zdroj, jenž má rozměry zanedbatelné vzhledem ke vzdálenosti bodu r , ke kterému provádíme měření. V praxi se tento poměr požaduje větší než 5, aby byl zdroj chápán jako bodový. [3]

3.3 Osvětlenost

Veličina, často nazývaná také intenzita osvětlení, určující hodnotu světelného toku dopadající na jednotkovou plochu.

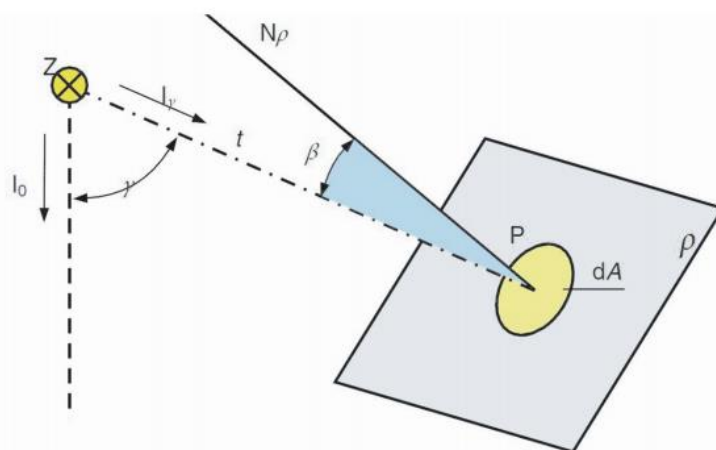
$$E = \frac{d\phi}{dA}, \quad (3.5)$$

kde E je intenzita osvětlení (lx), $d\phi$ je světelný tok, dopadající na jednotkovou plochu (lm) a dA je plocha, na kterou světelný tok dopadá (m^2).

Osvětlenost plochy lze vypočítat také pomocí svítivosti. Na obrázku č. 3-2 můžeme vidět rovinu ρ a bod P, na který dopadá paprsek světla pod úhlem β , což je úhel právě mezi paprskem a normálou roviny N_ρ . Vzdálenost světelného zdroje od plochy dA je označena l . Intenzitu tedy vypočítáme podle vzorce:

$$E = \frac{I_\gamma \cdot \cos\beta}{l^2}, \quad (3.6)$$

kde β je úhel, který svírá dopadající paprsek s normálou plochy, l je vzdálenost plochy od světelného zdroje (m).



Obrázek č. 3-2 – Definice osvětlenosti bodového zdroje [6]

Z rovnice můžeme vidět, že osvětlenost klesá se čtvercem vzdálenosti zdroje od plochy. Hodně záleží také na úhlu dopadu paprsku. Pro $\beta = 0^\circ$ je intenzita osvětlení maximální, protože $\cos 0^\circ = 1$, naopak pro paprsek, jenž svírá úhel s normálou 90° je intenzita osvětlení nulová.

U osvětlenosti lze naměřit určité hodnoty osvětlenosti v bodech a poté vytvořit tzv. izoluxní mapu, kde jsou pospojované body se stejnou intenzitou osvětlení. Na určité ploše lze také určit rovnoměrnost osvětlenosti, jež je dána poměrem minimální osvětlenosti E_{min} s průměrnou osvětleností dané plochy E_p . [3]

3.4 Jas

Veličina označovaná též jako měrná svítivost. Je určena plošnou a prostorovou hustotou světelného toku a závisí na poloze pozorovatele a jeho směru pohledu.

$$L_\gamma = \frac{dI_\gamma}{dA \cdot \cos \gamma}, \quad (3.7)$$

kde L_γ je jas ve vztáženém směru (cd/m^2),

Podobně jako u osvětlenosti, také u jasu lze vypočítat jeho rovnoměrnost v určité síti kontrolních bodů, a to stejným poměrem, tedy minimální jas ku aritmetickému průměru jasu na dané ploše.

Také můžeme definovat tzv. kontrast jasu, který je definován:

$$K = \frac{|L_a - L_b|}{L_b}, \quad (3.8)$$

kde K je kontrast jasu (-), L_a je jas pozorovaného předmětu (cd/m^2) a L_b je jas okolí tohoto předmětu (cd/m^2). Absolutní hodnota je ve vztahu z toho důvodu, že kontrast jasu může dosahovat jak kladných, tak záporných hodnot. [3]

3.5 Světlení

Tato veličina určuje plošnou hustotu světelného toku, který vychází z plochy dA .

$$M = \frac{d\phi_V}{dA}, \quad (3.9)$$

kde M je světlení (lm/m^2), $d\phi_V$ je plošná hustota světelného toku a dA je plocha, z níž vychází světelný tok (m^2).

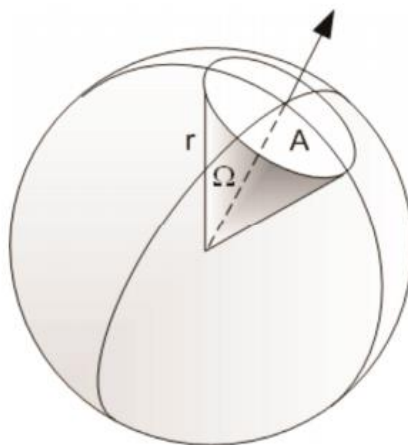
3.6 Prostorový úhel

Je to část prostoru, který je vymezen kuželovitou plochou, který na kouli o poloměru r vytvoří plochu A .

Velikost úhlu, pod nímž jde vidět ze středu koule plochu A určíme:

$$\Omega = \frac{A}{r^2}, \quad (3.10)$$

kde Ω je prostorový úhel (sr), A je plocha představující prostorový úhel (m^2) a r je poloměr koule (m).



Obrázek č. 3-3 – Vymezení prostorového úhlu [6]

Největší maximální úhel dostaneme $\Omega_{max} = 4\pi$, když budeme za plochu považovat celý povrch koule, tudíž $A = 4\pi r^2$.

Prostorový úhel elementu dA , který můžeme vidět ze vzdálenosti l určíme podle vztahu:

$$d\Omega = \frac{dA \cdot \cos\beta}{l^2}, \quad (3.11)$$

kde β zde představuje úhel mezi normálou N_{dA} a paprskem světla I .

Někdy se zavádí také veličina ekvivalentní prostorový úhel, jenž nám určuje úhel, do kterého by světelný zdroj vyzářil všechnen světelný tok, za předpokladu konstantní svítivosti ve všech směrech rovné vztažné svítivosti I_0 .

$$\Omega_e = \frac{\phi}{I_0}, \quad (3.12)$$

kde Ω_e představuje ekvivalentní úhel (sr), ϕ je světelný tok (lm) a I_0 je vztažná svítivost. [3]

4 SVĚTELNÉ ZDROJE

Světelné zdroje jsou tělesa, která vyzařují světelné záření ve viditelném spektru. Můžeme je primárně rozdělit na přírodní (např. Měsíc, Slunce, blesk) a umělé (např. svíčka, výbojka, LED, žárovka). Tělesa, jež přímo vyzařují světlo, které vzniklo přeměnou energie v něm, jsou nazývány primárními zdroji energie. Sekundární zdroje světla jsou taková tělesa, jež přímo neprodukují světlo, ale například odráží nebo propouští světlo, čímž jej vysílají do prostoru. Důležitý pojem je také umělý světelný zdroj, což je takový zdroj, jenž přeměňuje chemickou, elektrickou, biologickou energii na elektromagnetické záření ve viditelné části spektra. [1]

4.1 Parametry světelných zdrojů

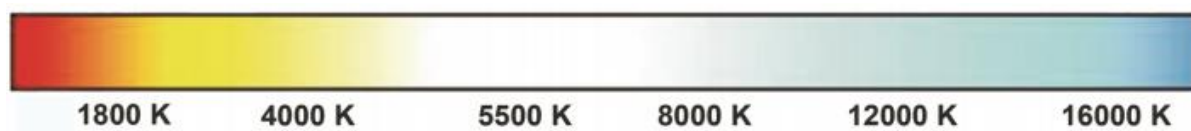
Kromě základních parametrů jsou důležité vlastnosti také geometrie zdroje, druh patice, provozní teplota zdroje, poloha světelného svítidla atd.

4.1.1 Světelný tok ϕ (lm)

Určuje množství světla, které světelný zdroj vyzáří na jednotku času. Závisí na typu a druhu zdroje. Jednotkou je lumen (lm). Více o něm již bylo napsáno v kapitole 3.1. u světelně technických veličin.

4.1.2 (Náhradní) teplota chromatičnosti T_c (K)

Popisuje barevné vlastnosti světla. U žárovek představuje teplotu vlákna, u výbojek se definuje parametr náhradní teplota chromatičnosti, která odpovídá ekvivalentnímu teplotnímu zdroji s podobným spektrem. Jednotka teploty chromatičnosti je Kelvin a značí se K. [3]



Obrázek č. 4-1 – Teplota chromatičnosti [6]

U světelných zdrojů rozlišujeme 3 druhy barvy:

- teple bílá – pro teploty chromatičnosti nižší, než 3300 K
- bílá – v rozsahu od 3300 K do 5000 K
- denní – pro teploty chromatičnosti vyšší, než 5000 K [3]

Druh světelného zdroje	T_c (K)
Zářivka studené denní světlo	6500 a více
Zářivka denní světlo	5400
Jasná obloha	6500
Slunce v létě v poledne	5500
Zářivka studená bílá	4000
Slunce při západu	3500 - 4000
Žárovka, žárovka teple bílá	2700
Plamen svíčky	1800

Tabulka č. 4-1 – Teploty chromatičnosti různých světelných zdrojů [6]

4.1.3 Měrný výkon m_Z (lm/W)

Tato veličina určuje míru přeměny elektrické energie na světelnou energii, což lze vlastně popsat jako poměr vyprodukovaného světelného toku s dodaným elektrickým příkonem. Určuje tedy hodnotu světelnou toku, kterou získáme z jednoho wattu.

$$m_Z = \frac{\phi}{P}, \quad (4.1)$$

kde m_Z je měrný výkon (lm/W), ϕ světelný tok (lm) a P určuje elektrický příkon (W). [3]

Druh světelného zdroje	Příkon (W)	Měrný výkon (lm/W)
Žárovka	15 - 200	6 – 15
Halogenová žárovka	10 - 2000	14 – 26
Kompaktní žárovka	5 - 60	56 – 88
Lineární zářivka T8	10 - 58	65 – 90
Lineární zářivka T5	14 - 80	70 -104
Indukční výbojky	50 - 400	70 -93
Rtuťová výbojka	50 - 1000	50 – 80
Vysokotlaká sodíková výbojka	50 - 1000	88 – 150
Halogenidová výbojka	35 - 3500	94 -103
Nízkotlaká sodíková výbojka	18 - 180	130 – 200
Světelné diody	1 - 20	až 140
Xenonová výbojka	25 - 10 000	až 95
Plazmový světelný zdroj	až 250	až 85

Tabulka č. 4-2 – Přehled měrných výkonů běžně prodávaných světelných zdrojů [6]

4.1.4 Index podání barev R_a (-)

Index podání barev určuje, jak věrně je člověk schopen při záření světelného zdroje vnímat barvy. Čím vyšší je hodnota tohoto indexu, tím lepší je podání barev. Nejvyšší hodnotu R_a ze světelných zdrojů má obyčejná žárovka, a to $R_a = 100$, naopak nízkotlaká sodíková výbojka, která vyzařuje monochromatické světlo má barevné podání $R_a = 0$. [3]

4.1.5 Životnost světelného zdroje (h)

Tento parametr určuje, jak dlouho bude daný světelný zdroj hospodárně svítit. U žárovek je tato doba určena přepálením vlákna. U výbojek a LED světelných zdrojů je to doba, za jak dlouho poklesne světelný tok zdroje pod určitou definovanou hodnotu a bude už tedy nevhodný.

Rozlišujeme dva druhy životnosti:

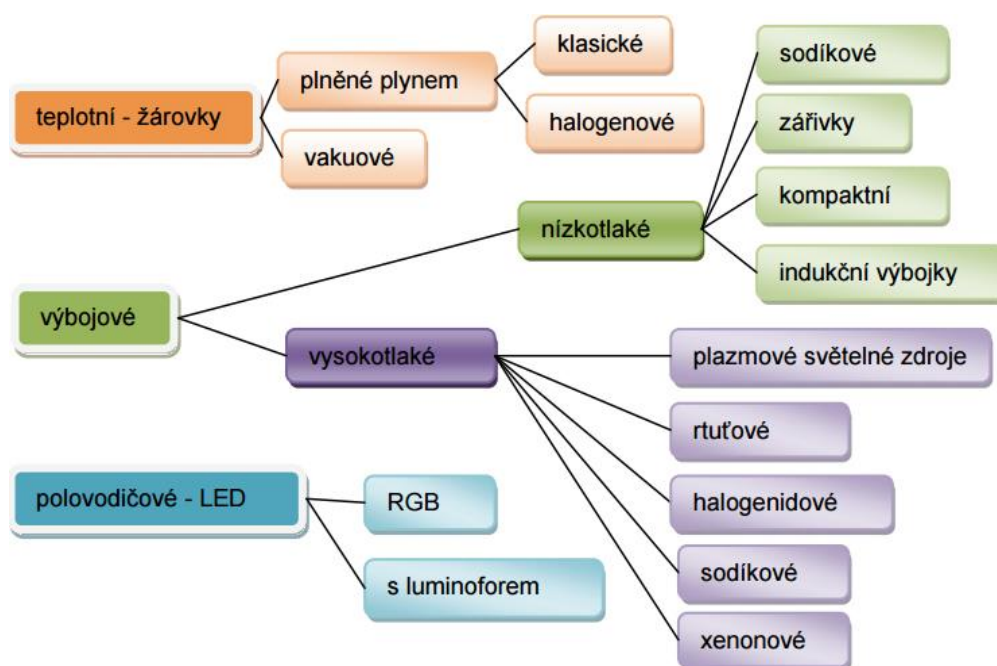
- Střední (průměrná) životnost – doba je dána časem, za který přestane svítit přesně polovina ze sledovaných světelných zdrojů
- Užitečná životnost – doba, za kterou se světelný zdroj stává nevhodný, což je považována hodnota 80 % původního světelného toku (u LED zdrojů to je hodnota 70 %) [3]

Druh světelného zdroje	Průměrná životnost (h)	Užitečná životnost (h)
Kompaktní zářivky	15 000	6 000 - 15 000
Lineární zářivky	20 000	10 000 - 18 000
Vysokotlaké rtuťové výbojky	16 000 - 24 000	10 000 - 20 000
Vysokotlaké sodíkové výbojky	32 000	20 000
Nízkotlaké sodíkové výbojky	16 000	16 000
Halogenidové výbojky	10 000	4 000
Výkonové LED	50 000 - 100 000	25 000 - 50 000

Tabulka č. 4-3 - Orientační délky života vybraných světelných zdrojů [6]

4.2 Rozdělení světelných zdrojů

Základní dělení světelných zdrojů je uvedeno na obrázku č. 4-2. Nejvýznamnější zdroje jsou poté rozebrány detailněji v následujících podkapitolách.



Obrázek č. 4-2 – Rozdělení světelných zdrojů [6]

4.2.1 Teplotní světelné zdroje

Teplotní světelné zdroje se vyznačují tím, že způsobují ohřev těles. Jejich princip je založen na záření těles, která jsou zahřáta na vysokou teplotu. Mohou to být buď druhy plamene, ať už svíčka, oheň nebo petrolejové lampy. Na druhou stranu zde také patří žárovky, a to obyčejné nebo halogenové. Zdroj záření u žárovek je kovové vlákno (platinové, uhlíkové, osmiové, v současnosti wolframové), které rozžhavlí na vysokou teplotu procházející elektrický proud. V současné době se ovšem jejich podíl na trhu snižuje. [1]

4.2.1.1 Obyčejné žárovky

Žárovky jsou prozatím ve světě stále nejrozšířenějším světelným zdrojem. Zdrojem záření je u nich wolframové vlákno, které má průměr od 10 μm pro 15 W žárovky až po 120 μm pro 200 W žárovky.

Konstrukci žárovky můžeme vidět na obrázku č. 4-3. Vnitřní část žárovky je vyčerpána od plynů jako kyslík a vodík. Jsou plněné plynem, nejčastěji argonem nebo kryptonem s příměsí dusíku, který zabraňuje vzniku výboje mezi vlákna a napomáhá ke zvýšení měrného výkonu žárovky zvětšením teploty vlákna. Přitom se zachová její doba života.

Žárovky jsou výhodné z mnoha důvodů:

- velmi jednoduchá výměna v případě vady
- spektrum světla mající teplý odstín daný teplotou chromatičnosti 2700 až 2900 K
- výkonová řada od 15 W do 200 W
- mají výborné podání barev $R_a = 100$
- velká tepelná setrvačnost vlákna – start bez blikání
- neobsahují žádné nebezpečné látky [1]



Obrázek č. 4-3 – Obyčejná žárovka [6]

Zásadními nevýhodami žárovek jsou malá životnost, velmi nízký měrný výkon (nepřesáhne 20 lm/W) a pokles světelného toku v průběhu života. Elektrická energie se přeměňuje na světelnou pouze s 10% účinností u žárovek plněných plynem a 7% účinností u vakuových žárovek.

Zvýšení měrného výkonu žárovek je možné teoreticky až k 50 lm/W, nicméně je to provázeno snížením doby života, černáním baňky a poklesem světelného toku.

Mezi napájecím napětím a dobou života žárovky je exponenciální závislost:

$$\frac{T}{T_0} = \left(\frac{U}{U_0} \right)^{-14}, \quad (4.2)$$

kde T (h) je doba života při napětí U (V) a T_0 je doba života (h) při napájecím napětí U_0 (V).

Z rovnice 4.2 se může určit, že když se zvýší napájecí napětí o 10 %, tak sice dojde ke zvětšení měrného výkonu o 25 %, ovšem také ke snížení životnosti žárovky asi o 70 %. Naopak když napájecí napětí snížíme, doba života výrazně vzroste, nicméně měrný výkon poklesne.

V současnosti je rozsah použití a výroby žárovek pořád široký. U nás se používají nejčastěji závitové patice E27. I přes několik pozitivních vlastností, je rozhodující již výše zmíněná nízká účinnost přeměny elektrické energie na světelnou a nízký měrný tepelný výkon, díky němuž jsou žárovky postupně (i legislativně) vyřazovány. [1]

4.2.1.2 Halogenové žárovky

Jsou typem žárovek, kterou jsou plněny plynem s příměsí halogenů nebo jejich sloučenin. Zvyšuje se tím nejen životnost žárovky, ale také stabilita světelného toku.

Tím, že je použito silnější sklo, je možné také zvýšit tlak v baňce, čímž se sníží rychlost vypařování wolframového jádra a prodlouží životnost žárovky. Uvnitř baňky probíhá reakce wolframového vlákna se směsí inertního plynu a sloučeniny halogenu. Wolfram se přibližně kolem 3000 K vypařuje z vlákna, přibližuje se k baňce, kde se sloučí s halogenem (např. brom). Vzniká halogenid wolframu, který se vrací zpět k vláknu, kde se při teplotě asi 1700 K opět rozpadá na wolfram a brom. Brom putuje zpět k baňce, kde poté znovu reaguje, naopak wolfram se drží blízko vlákna a zvyšuje tlak wolframových par, čímž omezuje vypařování vlákna.



Obrázek č. 4-4 – OSRAM Halogen classic A, 20 W, patice E27 [7]

V praxi je užitečný fakt, jak ovlivňuje počet zapínání život žárovky, jelikož zapínání na plné napětí ke konci života vede k urychlení přepálení vlákna. Proto je lepší používat systémy stmívání, jelikož při nich se žárovka zapíná při nižším napětí a na plnou hodnotu světelného toku se dostává jeho postupným zvyšováním.

Výhody halogenových žárovek oproti obyčejným žárovkám:

- vyzařují pro lidské oko příjemné světlo o teplotě chromatičnosti 2900-3100 K
- úbytek jejich světelného toku za dobu života není tak velký, jako u obyčejných žárovek
- dosahují většího měrného výkonu při stejné délce života
- mají větší účinnost přeměny energie elektrické na energii světelnou

Mezi jejich nevýhody naopak patří:

- náročnější výroba a z toho vyplývající vyšší cena, hlavně u žárovek s nižším příkonem
- velká závislost jejich parametrů na napájecím napětí (měrný výkon, životnost, proud, příkon a světelný tok)

Závěrem lze říci, že ačkoliv mají halogenové žárovky lepší účinnost přeměny než obyčejné žárovky, pořád je velmi nízká. Také měrný výkon není nějak moc veliký, a to v rozmezí 20-26 lm/W. Používají se hlavně jako bytová osvětlení, promítací technika, osvětlení automobilů a dekorativní osvětlení v galeriích, muzeích a výlohách obchodů. [1]

4.2.2 Výbojové světelné zdroje

Výbojové zdroje fungují díky procesům, které probíhají při průchodu elektrického proudu vhodným prostředím. Jsou to zejména páry rtuti, sodíku a halogenidů, hlavně ze skupiny vzácných plynů jako je argon, krypton nebo neon.

Výbojové zdroje můžeme rozčlenit podle několika různých kritérií:

- podle typu výboje – kdy známe typ obloukový, doutnavý a bezelektrodový
- podle místa vzniku záření
 - plynové výbojky, výbojky s parami kovů
 - luminiscenční
 - výbojky, kde jsou zdrojem elektrody nažhavené v plynu
- podle tlaku pracovní náplně – nízkotlaké, vysokotlaké a výbojky s velmi vysokým tlakem [1]

4.2.3 Nízkotlaké výbojky

Tento typ výbojek pracuje v rámci desetin až jednotek Pascalů, kdy páry plynů dosahují svého prvního maxima měrného výkonu. [1]

4.2.3.1 Zářivky

Zářivky jsou rtuťové nízkotlaké výbojky, kde je světlo vyzařováno jednou nebo více vrstvami luminoforu, jenž je buzen UV zářením. Zářivky jsou obvykle trubicového tvaru, ovšem objevují se různá provedení od kruhových, až po zářivky ve tvaru U. Další pokroky v elektrotechnice umožnily zlepšovat vývoj těchto zdrojů, kde momentálně nová generace dokáže dosáhnout měrného výkonu vyššího než 100 lm/W, a to při dobrém podání světla R_a větším než 80. [1]

Samotný výboj se uskutečňuje při tlaku 0,8 Pa v nasycených parách rtuti a při tlaku 200-400 Pa v inertním plynu, nejčastěji argonu nebo směsi argonu a kryptonu.

Na obou koncích trubice je patice G13, u nové generace je to patice G5. Ta obsahuje dva kolíky pro elektrický kontakt s objímkami svítidla a předřadným a startovacím obvodem.

Důležité je pro zářivku dávkování rtuti. Vzhledem k náročné výrobě a pozdější likvidaci je záhodno použít minimální množství pro vznik výboje. Při dobré technologii dávkování rtuti po malých částech, dobré čistotě materiálů a také použití ochranné vrstvy mezi luminoforem a sklem to jsou pouze 3 mg rtuti. [1]

Mezi výhody zářivek patří:

- velmi vysoká účinnost přeměny elektrické energie na světelnou, s měrným výkonem až 104 lm/W
- dobrý index podání barev R_a , kde u obyčejných zářivek se pohybuje nad 80 a u speciálních případů dokonce může dosáhnout hodnoty 98
- použití pro příkony od 4 W do 200 W
- široký rozsah barev s teplotou chromatičnosti 2700-17000 K
- dobře zvládnutá výroba (až 4000 ks/hod), tím pádem také nízká cena
- dlouhá doba života, která může být i větší než 20 000 hodin

Naopak nevýhodami jsou:

- závislost světelného toku na teplotě okolního prostředí, kde světelný tok je roven svým 100 % jen pro pokojovou teplotu, naopak pro vyšší i nižší teploty hyperbolicky klesá dolů (například pro teplotu 5 °C je světelný tok pouze na svých 75 % z původní maximální hodnoty)
- potřeba startovacích a předřadných odporů, které snižují měrný výkon celé soustavy
- velký vliv zapnutí za život (platí hlavně pro zářivky s tlumivkami a doutnavým startérem)
- toxičnost rtuti, takže zářivku nelze po ukončení života vyhodit do komunálního odpadu, ale je potřeba ji zlikvidovat u pověřených organizací



Obrázek č. 4-5 – OSRAM Trubicová zářivka T8, 26 mm, s paticemi G13, 10 W [7]

Nejčastější použití zářivek je ve vnitřních osvětlovacích soustavách, hlavně ve školách, nákupních centrech, kancelářích, nemocnicích, ale i v domácnostech. Uplatňují se ovšem také v pouličním osvětlení. [1]

Speciální typ zářivek tzv. *kompaktní zářivky* postupně vyplnily místo, které bylo na trhu při hledání lepší náhrady za obyčejné žárovky. Právě tyto zdroje vše potřebné splňují, s měrným výkonem v rozmezí 50-80 lm/W, délkou života 5 až 20 krát větším než žárovky a cenovou dostupností. Princip funkce je podobný jako u klasických zářivek. Jedná se o rtuťovou nízkotlakou výbojku, kde je hlavní část světla vyzařována luminoforem, jenž je buzen UV zářením výboje. Rozdíl je v jednopaticovém provedení a menší konstrukci, která je umožněna díky složením výbojové dráhy do více paralelně umístěných trubic.

Pro menší výkony je výbojová trubice umístěna do vnější baňky různého tvaru (kulový, hruškový). Důvodem je snaha o přiblížení se rozměrům a křivkám rozložení svítivosti obyčejných žárovek.

Trubice, kde probíhá výboj, je z měkkého olovnatého světla, avšak vyrábí se i skla například s přísadami ceru, které toxické olovo neobsahují. Vnitřní stěna trubice je pokryta směsí dvou nebo tří úzkopásmových luminoforů. Na obou koncích výbojové trubice jsou wolframové elektrody, které jsou pokryty emisní hmotou. Výboj probíhá ve směsi par rtuti a vzácného plynu (např. argon). Rtuť je dávkována buď samostatně nebo s amalgámem indium, jenž pomáhá rozšíření rozsahu teplot, ve kterých dosáhne zářivka vysokého světelného toku ϕ . [1]



Obrázek č. 4-6 – OSRAM dulux kompaktní zářivka s integrovaným předřadníkem, 11 W [7]

Z hlediska pracovního obvodu můžeme kompaktní zářivky rozdělit do dvou skupin:

- S vnějším předřadníkem – používají tlumivku nebo elektronický předřadník, který pracuje na vysoké frekvenci v rozsahu 30-40 kHz. Pro provoz s tlumivkou jsou zářivky opatřeny dvoukólikovou paticí, při provozu s předřadníkem čtyřkólikovou paticí. Předřadník s vysokými pracovními frekvencemi zlepšuje zrakovou pohodu i osvětlovací parametry zářivky. Cena tohoto zdroje je vyšší, ale je zde možnost výměny zářivky při poruše nebo ukončení života.
- S elektronickým integrovaným předřadníkem – jsou energeticky úspornější variantou žárovky. Výrobci se snaží dodržet požadavek obrysových parametrů žárovek daného typu z důvodu případné výměny obyčejných žárovek právě za kompaktní zářivky, které by při jiné konstrukci neměly efekt snížení spotřeby elektrické energie. Důležitá je tedy kvalitní technologie výroby a použití amalgámu na omezení závislosti na okolní teplotě. [1]

Přednosti kompaktních zářivek jsou velmi podobné klasickým zářivkám:

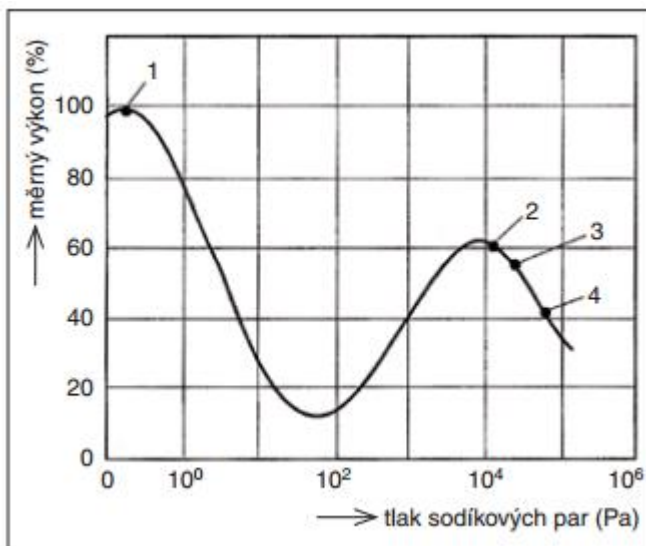
- index barevného podání je vyšší než 80, u speciálních konstrukcí i 90
- velký rozsah náhradní teploty chromatičnosti (2700-6500 K)
- životnost až 20 tisíc hodin, zvládnutá sériová výroba (až 4000 ks/h)
- svým světelným tokem, geometrií a indexem podání světla se blíží obyčejným žárovkám
- vysoká světelná účinnost a úspora energie až 80 % (možnost provozu se stmívači)
- při provozu s elektronickým předřadníkem, jenž pracuje při vysokých frekvencích jsou výhody: rychlý náběh (1 s) a provoz bez blikání a komíhání

Nevýhodami těchto zdrojů jsou naopak:

- teplotní závislost parametrů
- vliv četnosti vypínání na dobu života
- obsah toxické rtuti (u kvalitních výrobců je menší)
- omezení horní hranice příkonu (nízkotlaký výboj) [1]

4.2.3.2 Nízkotlaké sodíkové výbojky

U tohoto typu zdrojů je světlo vyzařováno sodíkovými parami v rozmezí tlaků 0,1 až 0,5 Pa. Sodíkové nízkotlaké výbojky se začaly používat už ve 30. letech 20. století. Prvek sodík má velmi velké rezonanční záření v části žluté barvy viditelného spektra, tedy u vlnových délek 589,0 nm až 589,6 nm, která je jen necelých 35 nm od optimální vlnové délky, na kterou je oko nejcitlivější. Nejvýkonnější typy dosahují v současné době měrného výkonu skoro 200 lm/W, což je dělá po LED zdrojích nejúčinnějším umělým světelným zdrojem. [1]



Obrázek č. 4-7 – Závislost měrného výkonu na tlaku sodíkových par [5]

- 1 – nízkotlaké sodíkové výbojky s $R_a \approx 0$
- 2 – vysokotlaké sodíkové výbojky standardní, $R_a = 25$
- 3 – vysokotlaké sodíkové výbojky se zlepšeným podáním barev, $R_a = 60$
- 4 – vysokotlaké sodíkové výbojky se výborným podáním barev $R_a > 80$

Výboj se uskutečňuje v hořáku z vápenného skla, který je zevnitř pokryt vrstvou boritého skla, jenž je velmi odolné vůči působení sodíku a jeho par při vysokých teplotách, při kterých zdroj pracuje. Výboj pracuje v režimu nasycených par, který je charakterizován tím, že tlak je určen podle místa s nejnižší teplotou hořáku. Po celé délce hořáku jsou tedy rozprostřeny důlky, kde je shromážděn kapalný sodík, aby

se zabránilo zkapalnění sodíku na jednom místě. Je tím zajištěna i rovnoměrnost výboje po celé délce, jeho homogenita a také kratší doba rozhoření. [1]

Náplní hořáku je čistý sodík, kterého je zde velké množství v porovnání s tím, který se zúčastní výboje. Další náplní může být tzv. *Penningova* směs, jež je tvořena z neonu a malého množství argonu, která usnadňuje zapalování výboje, při nízkém tlaku sodíkových par (ve studeném stavu). Proces, než jsou sodíkové páry nahřáty a sodík je tedy jediným zdrojem záření trvá asi 10-12 minut. Velmi důležitou je také vrstva například oxidu inditého (In_2O_3), který zabraňuje průchodu převážné části IR záření a odráží jej zpět na stěnu trubice. Vyznačují se výbornou prostupností v oblasti viditelného světla. Nejčastěji se používá u těchto zdrojů patice BY22d s keramickým izolačním kamenem. Vyšší zápalné napětí, které je potřeba na rozhoření je důvodem, proč je nutné používat u sodíkových výbojek předřadné obvody. Nejčastěji to je rozptylový transformátor, zapalovací kondenzátor nebo tlumivka. [1]

U výbojek do příkonu 55 W se trubice používají ve vertikální poloze, ovšem musí být zabezpečeno, aby se tekutý sodík nedostal do blízkosti spojení skla a kovových přívodů, což by výrazně zkracovalo životnost výboje. Od příkonu 90 W se musí používat v horizontální poloze s odchylkou maximálně 20°.

Výhody nízkotlakých sodíkových výbojek:

- účinnost výbojky nezávislá na teplotě okolí
- délka života se pohybuje až ke 20 000 hodinám
- velmi vysoký měrný výkon (200 lm/W)
- dobrá viditelnost i v mlze
- zápal dokáže proběhnout i v teplotě -20 °C a díky předřadníkům a nízkému tlaku náplně je i rychlý

Nevýhody jsou naopak:

- velmi špatné podání barev – vyzařuje monochromaticky, proto je index podání barev $R_a = 0$
- kvůli vyššímu zápalnému napětí je nutné použití předřadníků, v nichž vznikají velké ztráty
- při návrhu osvětlení je nutné počítat s nárůstem příkonu v průběhu života asi o 40 %
- náročnější sériová výroba
- díky použití předřadníků vyšší materiálová náročnost a vyšší pořizovací cena

Sodíkové výbojky mají svůj potenciál měrného výkonu až k 500 lm/W, ovšem díky velmi špatnému podání barev je použití zúženo na osvětlení dálnic, tunelů, letišť nebo na speciální technické a dekorační osvětlení. Větší města, kde měly tyto výbojky dominantní postavení, od nich pomalu ustupují a nahrazují je sodíkovými vysokotlakými nebo halogenidovými výbojkami. [1]

4.2.4 Vysokotlaké výbojové zdroje

Na rozdíl od nízkotlakých výbojek, které pracují v rámci tlaků o velikosti jednotek Pascalů, vysokotlaké výbojky, jak již název napovídá, dokáží pracovat při podstatně vyšších tlacích. Princip je odlišný, když se při postupném zvyšování tlaku par zvyšuje vlnová délka vyzařované energie a vzniká spojitě spektrum. [1]

Takový zdroj by se ovšem nehodil pro osvětlení, jelikož ve spektru chybí červená složka. Barevné podání je tedy nevyhovující. Proto se hledaly a našly způsoby, jak zlepšit toto spektrum:

- transformace UV záření luminoforem na chybějící složku červeného spektra – použití ve rtuťových vysokotlakých výbojkách s luminoforem
- kombinace modro-zeleného záření se světlem žárovky také zvýší obsah červené složky, ovšem na úkor měrného výkonu – použití u směsových výbojek
- doplnění vhodných svítících prvků do výboje, který by vyplnil díru mezi čarami rtuti (halogenidy) – použití u halogenidových výbojek

- nahrazení rtuti jiným prvkem s lepším spektrem ve viditelné oblasti světla – použití u vysokotlakých sodíkových výbojek [1]

4.2.4.1 Rtuťové vysokotlaké výbojky

U těchto zdrojů tvoří hlavní část světla rtuťový výboj při tlaku vyšším, než je 100 kPa. I kvůli tomuto vysokému tlaku je nutné, aby byl materiál pro výrobu hořáku velmi odolný. Používá se křemenné sklo, do něhož jsou zataveny wolframové elektrody. Důležité je dávkování rtuti a argonu o tlaku 2,7 kPa do hořáku. Argon zabraňuje odpařování emisní hmoty ze začátku výboje, kdy je proud procházející hořákem asi o 50 % větší než proud jmenovitý. Přidávání rtuti musí být přesné, jelikož změny teploty při režimu nasycených par rtuti mohou způsobit změny parametrů výbojek. Je to kvůli silné závislosti tlaku těchto par na teplotě. Zapálení výboje je způsobeno ze sítě, není nutno použít přídatný zapalovač.

Příkonová řada se ustálila na hodnotách 50, 80, 125, 250, 400, 700, 1000 W, většinou s luminoforem. Vyrábějí se různé výbojky o výkonu 50-400 W s kvalitnějším luminoforem, které jsou označeny jako *de luxe* nebo *comfort*. Mají totiž vyšší světelný tok asi o 10 %, index podání barev kolem 60 a také větší červenou složku spektra.

Výbojky vyžadují předřadník, což nejčastěji obstará tlumivka, která má vlastní spotřebu podle příkonu 10-45 W.

Mezi výhody rtuťových výbojek patří zejména:

- dlouhá životnost (12-16 tisíc hodin)
- vysoká stabilita světelného toku během života
- spolehlivost i při teplotách -25 °C
- z velké části automatizovaná výroba, z čehož vyplývá nízká cena
- jednoduchá konstrukce (pouze tlumivka)

Nevýhody jsou:

- u malých příkonů malá účinnost
- horší podání barev, hlavně u základních zdrojů
- nelze vyhazovat do komunálního odpadu z důvodu přítomnosti toxické rtuti
- nehodí se ke stmívání
- materiálová náročnost svítidel (velké rozměry svíticího povrchu)

Podíl VT rtuťových výbojek na trhu klesá, jsou nahrazovány úspornějšími kompaktními zářivkami, halogenidovými a sodíkovými výbojkami nebo v poslední době moderními LED zdroji. V současnosti se využívají jako venkovní osvětlení v místech méně významných komunikací a dopravních značek. Ve vyspělých zemích se očekává jejich postupné omezení legislativní cestou díky přítomnosti toxické rtuti. [1]

4.2.4.2 Směšové výbojky

Směšové výbojky jsou zdroje, kde je wolframové vlákno žárovky zapojeno do série s křemenným hořákem rtuťové výbojky. Vlákno výbojku doplňuje v oblasti červeného spektra, kde záření rtuti chybí. Baňka je pokryta luminoforem a je také naplněna inertním plynem.

Výhodné vlastnosti směšových výbojek:

- možnost provozu bez předřadníku, jelikož tuto funkci zastává wolframové vlákno
- příjemně teplý odstín barvy s $T_C = 3300-3800$ K
- index barevného podání v rozmezí 60-72
- účinník $\cos\varphi \doteq 1$
- dosažení jmenovitých hodnot příkonu, světelného toku a proudu do 5 minut

- pro příkony 200, 300 a 500 W delší život a úspornější typ zdroje než obyčejné žárovky

Nevýhodami jsou nízký měrný výkon (11-26 lm/W), a také nemožnost stmívat. Hlavní využití je v průmyslu (tvrzení barev, laků). V současnosti jejich podíl mezi světelnými zdroji klesá. [1]

4.2.4.3 Halogenidové výbojky

Světlo je zde způsobeno zářením par rtuti (Hg), vzácných plynů (Xe) a halogenidů. V současnosti se nejvíce používá způsob zlepšování vlastností VT rtuťových zdrojů tak, že se využívá postupně dalších chemických prvků, které mají jiné barevné spektrum vyzařování. Některé prvky mají velmi intenzivní rezonanční čáry, další mají zase velice husté čáry v celé oblasti viditelného záření, tudíž mají výborné podání světla R_a . Většina prvků ale nemá při maximální přípustné teplotě dostatečný tlak par, takže nelze dosáhnout požadovaného měrného výkonu. Další prvky, například alkalické kovy mají sice při teplotě 300 °C dostatečný tlak, ovšem reagují velmi agresivně ke křemennému sklu, což je nežádoucí.

Řešením těchto problémů je přidání různých sloučenin do spektra. Zjistilo se, že nejvhodnější pro použití jsou zejména halogenidy, které dosahují právě požadovaných podmínek, jako jsou vysoký tlak par, žádná reakce se sklem a vysoký měrný výkon. Index podání barev R_a je vyšší než u klasických rtuťových výbojek.

Důležitý krok byl učiněn, když se začal používat korundový hořák (Al_2O_3), takže se začaly vyrábět i zdroje s nižšími příkony, při současném zlepšení jejich parametrů.



Obrázek č. 4-8 – Halogenidová výbojka s křemenným hořákem, HQI-T, 70 W [7]

Výboj je zapalován vnějším zapalovacím zařízením, které zajišťuje vysoké napětí 1,8-5 kV v závislosti na příkonu. Nejprve probíhá výboj v parách rtuti a inertního plynu. Při zvyšování teploty stoupá také koncentrace halogenidů až k plnému nasycení. Doba, než se režim ustálí, trvá asi 5-10 minut. Při provozní teplotě hořáků se halogenidy štěpí na halogeny a atomy kovu, ty se vyzáří a putují zpět ke stěnám baňky, kde se opět sloučí na původní sloučeniny a tento proces probíhá znovu. Tento cyklus způsobuje delší životnost tohoto typu světelných zdrojů.

Halogenidové výbojky můžeme z hlediska materiálu hořáku rozdělit na dva druhy: s křemenným nebo keramickým hořákem. Keramickým hořákem je nejčastěji korund (Al_2O_3). Křemenný hořák je podobný těm, které jsou použity ve rtuťových výbojkách, je plněn inertním plynem a obstarává i stejnou funkci. Do hořáku jsou zataveny wolframové elektrody, které jsou pokryty emisní vrstvou na bázi oxidu thoričitého nebo yttritého. Pro nižší výkony je baňka tvořena z měkkého skla, pro vyšší výkony z tvrdé skloviny.



Obrázek č.4-9 – Halogenidová výbojka s keramickým hořákem HCl-T, 35 W [7]

Výhody halogenidových výbojek s křemenným hořákem jsou:

- široký výběr spekter (mnoho prvků na výběr)
- velký rozsah příkonů (70-5000 W)
- vyhovující index podání barev $R_a = 80-90$ při velkém měrném výkonu
- dlouhá životnost

Mezi nevýhody patří:

- technická náročnost a s ní související vysoká cena
- použití zapalovacího zařízení
- velká citlivost na kolísání sítě
- možné změny parametrů mezi výbojovými zdroji stejného typu

V současnosti se začínají vyrábět zdroje (zejména s korundovým hořákem) s menšími příkony (pod 70 W). Halogenidové výbojky se vyrábějí výhradně s elektronickými předřadníky.

Používají se hlavně pro venkovní osvětlení, jako jsou náměstí, ulice, pěší zóny, sportovní stadióny, osvětlení výkladních skříní, výstav apod. Halogenidové výbojky (výplň xenonu nebo rtuti + halogenid) se využívají jako světlomety v automobilech.

Vývoj se přepokládá v materiálu hořáku, kde je potřeba materiál s co největší teplotní odolností, hledají se způsoby pro snadnější zapálení výbojky a také pro využití potenciálu měrného výkonu, který je nyní využit pouze z jedné poloviny. [1]

4.2.4.4 Sodíkové vysokotlaké výbojky

Jsou to zdroje, kde je světlo vyzařováno hlavně sodíkovými parami v rozmezí tlaků od 3 do 60 kPa. U nízkotlakých sodíkových výbojek dosahuje světelná účinnost svého maxima, poté se měrný výkon snižuje, nicméně při tlaku 10 kPa účinnost dosahuje svého druhého maxima, a to až teoretické hodnoty 150 lm/W. Tím, že se toto spektrum vyzařuje při vyšším tlaku, je bohatší a má také lepší index podání barev R_a , který se může pohybovat u speciálních výbojek až k hodnotám vyšším než 85.

Protože vysokotlaké výbojky pracují s velkými tlaky, je jako vhodný materiál polykrystalický korund (Al_2O_3), který stojí za zlepšením vlastností vysokotlakých výbojek a také jejich celkovým rozšířením.

K rozhodujícím parametrům, které určují životnost výbojky, patří kvalitní pájka. Musí totiž vydržet působení sodíkových a rtuťových par při vysokých pracovních teplotách a teplotních nárazech při zapínání i vypínání. Jediný kov, který odpovídá těmto požadavkům je niob, na jehož díl je připájena wolframová elektroda. Změnou polohy této elektrody můžeme měnit teplotu v okolí

elektrod, čímž můžeme také změnit tlak par sodíku v hořáku, a tím parametry výbojky. Jelikož výbojka pracuje v režimu nasycených par sodíku, je opět důležité nejchladnější místo výbojky.

Hořák je plněn inertním plynem – xenonem, který má mezi ostatními vzácnými plyny nejmenší tepelnou vodivost, čímž zajišťuje nejvyšší měrný výkon výbojky. Pro udržení vakua je důležitý getr. Používá se buď baryový nebo na bázi hliníku a zirkonia. V porovnání se rtuťovou má sodíková výbojka vyšší zápalné napětí. Toto napětí se pohybuje od 2,8 kV do 4,5 kV. Neplatí to u výbojky plněné tzv. *Penningovou* směsí (neon + 0,5 % argonu), která nepotřebuje zapalovač, ale k zapálení stačí pouze síťové napětí. Nevýhodou tohoto typu výbojky je menší měrný výkon (asi o 25 %), nicméně dochází k úspoře až 15 % energie a vyšší hladině osvětlení (20 %-35 %). [1]



Obrázek č. 4-10 – Vysokotlaká sodíková výbojka NAV-T Super G4, 50 W [7]

Hlavní přednosti sodíkových výbojek:

- vysoký měrný výkon
- velká živostnost až 30 000 hodin
- stabilní hodnota světelného toku
- přijatelná cena, zvládnutá hromadná výroba
- snadná údržba

Používají se do míst, kde nejsou kladeny vysoké nároky na index podání barev, tedy osvětlení tunelů, náměstí, letišť a v neposlední řadě také jako pouliční osvětlení. [1]

4.2.5 Elektro-luminiscenční světelné zdroje

Mezi tyto typy světelných zdrojů patří světelné diody LED (Light Emiting Diode), laserové diody a elektroluminiscenční součástky. U posledně jmenovaných je světlo buzeno elektrickým polem v luminoforu. Nejvýznamnějšími jsou ovšem světelné diody, které jsou spolu s laserovými diodami polovodičové součástky obsahující PN přechod.

První světelné diody v praxi se objevily v roce 1962, od té doby se ušla dlouhá cesta, kdy se tyto zdroje postupně zdokonalovaly. Začaly se používat nové materiály, které jsou spolehlivější a mají lepší vlastnosti. Přidání nových barev ve spektru pozitivně ovlivnilo měrný výkon, světelnou účinnost a stabilitu systému. Poměr světlo/cena je v současnosti závislý na ceně krystalu polovodiče. Světelná účinnost těchto zdrojů teoreticky může dosáhnout až měrného výkonu 590 lm/W u zelené diody, u ostatních barev jsou tyto hodnoty nižší. [1]

Je zde tedy světlá budoucnost a možnost zlepšení měrného výkonu, který v roce 2014 dosáhl v laboratorních podmínkách svého historického maxima, a to 303 lm/W firmou Cree, která se zabývá inovací a prodejem LED svítidel. [8]

Materiál PN přechodu je tvořen polovodiči typu $A^{III}B^V$, což jsou materiály, které vytvářejí přebytek elektronů nebo přebytek děr (nedostatek elektronů). Princip funkce je jednoduchý. V místě dotyku těchto dvou vrstev vzniká PN přechod. Po připojení stejnosměrného napětí dochází k rekombinaci děr a elektronů, přičemž se uvolňují kvanta energie, která se vyzařují do prostoru.

V současnosti používané materiály závisí na barvě diody. Pro žluté, červené a oranžové diody to jsou materiály na bázi arsenidů a fosfidů india, galia a hliníku, naopak pro diody barev zelených, modrých a fialových to jsou materiály na bázi nitridů a selenidů zinku, india a galia. Velmi důležitou a užitečnou vlastností je možnost dosažení různých barev úpravou velikosti zakázaného pásu. [1]



Obrázek č. 4-11 – OSRAM LED Star classic A60, 8 W, E27 [7]

Diody bílého světla nemohly být vyráběny až do doby, než byla do spektra doplněna modrá barva. Jsou dva způsoby vzniku bílého světla LED:

- První způsob je založen na smíchání světla červeného, zeleného a modrého, ovšem tento způsob má nevýhodu v nízkém jasu a může zde docházet k degradaci čipu jedné barvy, takže by se spektrum posunulo k jiné barvě než bílé
- Druhý způsob je fosforescence luminoforu. Tento způsob je úspornější, zabere méně místa ve zdroji, ovšem má zase menší podání barev R_a .

Samotný světelný zdroj, polovodičový čip, byl v minulosti vyráběn velmi malý (0,05 mm²) s proudem několika miliampérů a světelných tokem jednotek lumenů. V současnosti díky pokroku technologií rozlišujeme tři základní skupiny podle výkonu a proudu:

- diody s proudem od 1 mA do 2 mA o malém výkonu
- diody standardní s proudem větším, než je 20 mA
- diody výkonové, které mají proud větší než 0,35 A (tzv. high power) [1]

Předností diod je mnoho. Z hlediska geometrického to jsou hlavně malé rozměry, díky kterým se navrhují přístroje s komutovaným svazkem světelné energie. Z hlediska elektrických a světelných parametrů to je vyšší hodnota světelného toku při zapojení několika krystalů do série, snadná regulace, stmívatelnost beze změny barvy, vysoký jas a úspora elektrické energie. Díky tomu, že nepoužívají filtry (způsobují ztráty) na barvení světla LED, dosahují také vysoké účinnosti. Snadné vypínání a zapínání, díky rychlé době náběhu a rychlé odezvě. Lze získat velký počet barev od červené, žluté, oranžové až po modrou a zelenou, které dosahují vysoké čistoty a lze je mezi sebou míchat a vytvářet tak nekonečné množství barev. [1]

Z hlediska provozních vlastností je výhodou vysoká spolehlivost, velký rozsah pracovních teplot od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, dlouhá životnost (60–100 tisíc hodin při snížení světelného toku o 30 až 40 %). Konstrukce diod je uzpůsobena tomu, aby snášela otřesy a vibrace, používají se také plasty, jelikož jejich povrchové teploty nejsou vysoké.

Velkou ekologickou výhodou je, že LED zdroje neobsahují žádnou rtuť a značné části materiálů lze recyklovat. Naopak nevýhodou LED je poměrně vysoká cena, a hlavně závislost parametrů na okolní teplotě.

Použití LED světelných zdrojů je rozmanité:

- signalizace – dopravní značení, silnice, železnice, osvětlení automobilů, značení únikových cest
- venkovní osvětlení – mosty, pěší zóny, cyklostezky, tunely, architektonické osvětlení budov
- vnitřní osvětlení – restaurace, prodejní místa, pracovní osvětlení, osvětlení v muzeích, galeriích
- reklamní osvětlení – velkoplošné obrazovky s vysokým rozlišením
- zdravotnictví – tvrzení hmot v zubařské technice, terapie kožních a vnitřních nemocí
- další možnosti jsou například myši u počítačů, kapesní svítidla, čtení čárových kódů, kontrola bankovek UV zářením

V současnosti je snaha výrobců nejen vyrábět kompletně nové LED zdroje, ale také takové zdroje, které by se daly použít ve stávajících svítidlech, což ušetří peníze. Například do obyčejné žárovky se vloží několik polovodičových čipů, je použita odpovídající patice. Zdroj má menší spotřebu energie a lepší světelné vlastnosti (měrný výkon, účinnost, delší životnost). [1]

5 VEŘEJNÉ OSVĚTLENÍ

Venkovní osvětlení se začalo rozšiřovat až po objevení vhodných světelných zdrojů. Celkový noční obraz jak měst, tak i vesnic se spolu se zavedením umělého osvětlení změnil oproti přirozenému prostředí, na něž byl člověk zvyklý. Důležité pro návrh osvětlení je, aby při co nejmenším vlivu na okolní prostředí a co nejmenší náročnosti po energetické stránce, bylo dosaženo optimálních světelně-technických parametrů. [3]

„Pod pojmem veřejné osvětlení (dále VO) se rozumí osvětlení veřejných komunikací a prostranství (místních komunikací, silnic, dálnic, komunikací pro pěší a cyklistickou dopravu, včetně tunelů, podjezdů, podchodů, mostů, lávek, křižovatek, přechodů, náměstí, parků, pěších a obytných zón, zastávek městské hromadné dopravy, parkovišť atd.), osvětlení významných objektů (fasád budov, architektonických památek, výtvarných děl, přírodních tvarů apod.), osvětlení veřejných hodin, slavnostní osvětlení (používané při zvláštních příležitostech, často s provizorním napájením, např. vánoční výzdoba) apod., ve městech, obcích i mimo ně.“ [3]

5.1 Regulace VO

Jestliže je v určitých místech, nejčastěji v nočních hodinách intenzita dopravy výrazně nižší než přes den, je výhodné použít systémy k regulaci hladiny osvětlení, čím se nám významně sníží spotřeba elektrické energie. Je ovšem nutné zachovat rovnoměrnost osvětlení. Dovolené snížení této hladiny je stanoveno na 50 % jmenovité hodnoty osvětlení (jasu a osvětlenosti). Musí být ovšem podloženo analýzou změn intenzity osvětlení pozemních komunikací. Při extrémních případech, kdy je přes noc extrémně nižší intenzita provozu, je dovolena regulace o 65 % jmenovité hodnoty osvětlení. Také je ovšem nutné provést analýzu změn intenzity provozu, poté je ještě nutné schválení příslušného silničního správního úřadu. V místech, kde jsou časté dopravní nehody nebo je zde vyšší výskyt kriminality, je regulace nedoporučována. [3]

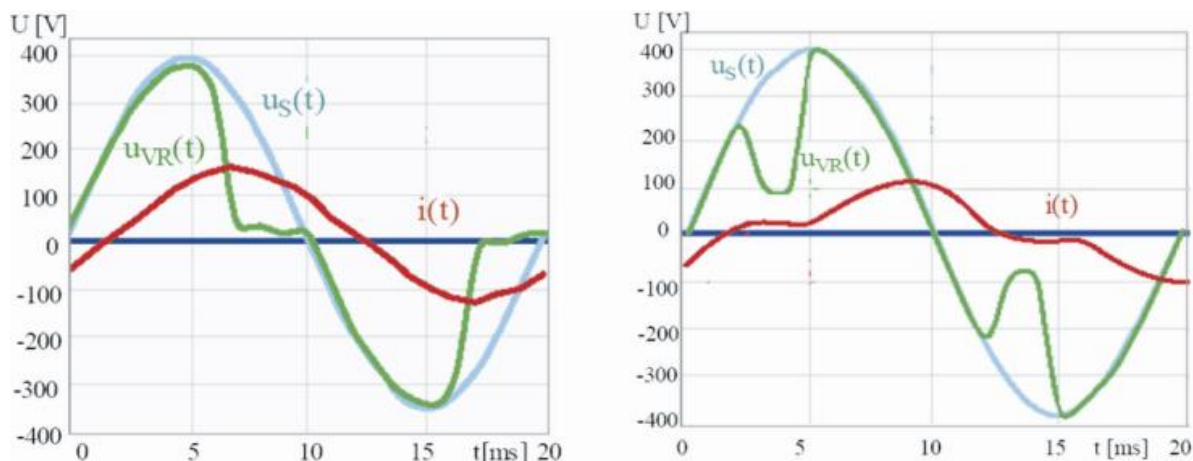
Kromě tohoto způsobu, je v menších obcích často praktikováno vypínání VO během nočních hodin, například od půlnoci do 4:00. Tyto čtyři hodiny denně ušetří velké částky peněz. Je důležité, aby se nešetřila energie stylem vypínání každého druhého sloupu VO, jelikož by nebyly splněny podmínky pro provozování VO. Z hlediska změny regulací pomocí vstupního napětí dochází ke značné úspoře peněz a prodloužení životnosti světelných zdrojů. Na regulátory jsou kladeny požadavky:

- stabilizace a možnost plynulé regulace
- maximální vlastní spotřeba 1,5 %
- snížení spotřeby až o 45 %
- dálkové ovládání a monitorování [5]

Z hlediska regulace světelného toku pomocí efektivní hodnoty napětí rozlišujeme:

5.1.1 Fázová regulace

Je to taková regulace, při níž zůstává amplituda napětí zachována na původní hodnotě. Rozlišujeme dva způsoby fázové regulace, a to pomocí systému NCWI nebo AWI. Měníčem je upraven sinusový průběh napětí sítě $u_S(t)$ na vzestupné nebo sestupné hraně (průběh $u_{VR}(t)$). První způsob je vhodný pro všechny světelné zdroje, naopak druhý je vhodný jen k regulaci VT sodíkových výbojek a halogenidových zdrojů s předřadníkem. [3]



Obrázek č. 5-1 – Změna efektivní hodnoty napětí pomocí fázové regulace, systém AWI vlevo, systém NCWI vpravo [6]

5.1.2 Amplitudová regulace

Tato regulace zahrnuje snížení světelného toku pomocí změny amplitudy napětí. Je vhodná hlavně pro regulaci VT sodíkových výbojek, do hodnoty napětí 180 V. [3]

Regulaci veřejného osvětlení lze rozdělit na *individuální* a *skupinovou*.

5.1.3 Individuální regulace

V samotném sloupu nebo v zemi pod sloupem je umístěn modul pro komunikaci s centrálním zařízením. Takový modul je schopen detekovat zkraty, vadnou pojistku, spálenou výbojku, nízké napětí na výbojce nebo například špatně zapojený kondenzátor. [3]

Individuální regulaci zajišťují nejčastěji:

- programovatelný elektronický předřadník
- regulační jednotka bez komunikace
- regulační jednotka s komunikací

Jednotka bez komunikace je umístěna před předřadníkem ve svítidle nebo blízko něj. Spolu s programovatelným předřadníkem umožňují:

- individuální stabilizaci zdrojů (na konci úseku VO dochází k eliminaci úbytků napětí)
- stálý režim regulace
- nízké investiční náklady

Na druhou stranu je jejich údržba dost náročná kvůli regulační jednotce ve svítidle, složitá je také jejich obsluha (umístění ve svítidle, které je hodně vysoko), neposkytují informace o provozním stavu zařízení a často mají pouze jeden stupeň regulace. [9]

V současné době se používají také řídicí jednotky s komunikací, které jsou předřazeny elektronickému předřadníku. Jedná se o tzv. telemanagementový systém. Ten umožňuje:

- řízení na dálku světelných zdrojů (spínání, regulace)
- monitorování provozních stavů (zapnuto/vypnuto, spotřeba elektrické energie, provozní hodiny, identifikace problémů s komunikací)

Další vlastnosti tohoto systému jsou:

- stabilizace každého světelného zdroje zvlášť (eliminace úbytků napětí na konci úseku VO)
- vyhodnocení aktuálních změn v intenzitě dopravy a podle nich řízení i celé skupiny svítidel
- počet stupňů regulace je neomezený (možná i plynulá regulace)

- obsahuje informace o provozních stavech světelných zdrojů (lze maximálně využít potenciál životnosti každého světelného zdroje díky vypracování modelu preventivní údržby)
- náročná obsluha díky vysoké výšce, kde se řídicí jednotka nachází
- vysoká pořizovací cena [9]

5.1.4 Skupinová regulace

Jedná se o jeden skupinový regulátor, jenž je umístěn ve skříni blízko zapínacího místa (rozvaděč). Je schopen regulovat a stabilizovat napětí v síti a také je schopen vícestupňové nebo plynulé regulace. [3]

Ještě existují i regulátory v tzv. off-line provozu bez komunikačního modulu, ovšem většina skupinových regulátorů už obsahuje řídicí a komunikační techniku, díky které provozovatel může nastavovat řídicí parametry. Systémy většinou umožňují dálkové řízení, regulaci nebo diagnostiku poruch soustavy. Monitorují se také elektrické veličiny jako proud, napětí, účinník, činný a jalový výkon odebíraný každou fází nebo spotřeba elektrické energie. Díky řídicí jednotce, která reaguje na podněty různých systémů regulace, je možné spínání osvětlovací soustavy. [9]

Vlastnosti skupinového regulátoru provozovaného v on-line režimu:

- regulační režim nastavitelný dálkově z centrálního dispečinku
- sběr informací o provozních veličinách
- jednoduchá obsluha, jelikož je umístěn blízko místa zapojení
- stabilizace napětí při přepětí nebo podpětí v síti
- umožňuje identifikaci černého odběru
- nutnost instalace dalšího skupinového regulátoru nebo výměny při zvýšení odběru elektrické energie
- výroba v několika výkonových řadách
- vyžaduje malé nároky na údržbu a nízké nároky na investici [9]

5.2 Systémy používané při regulaci VO

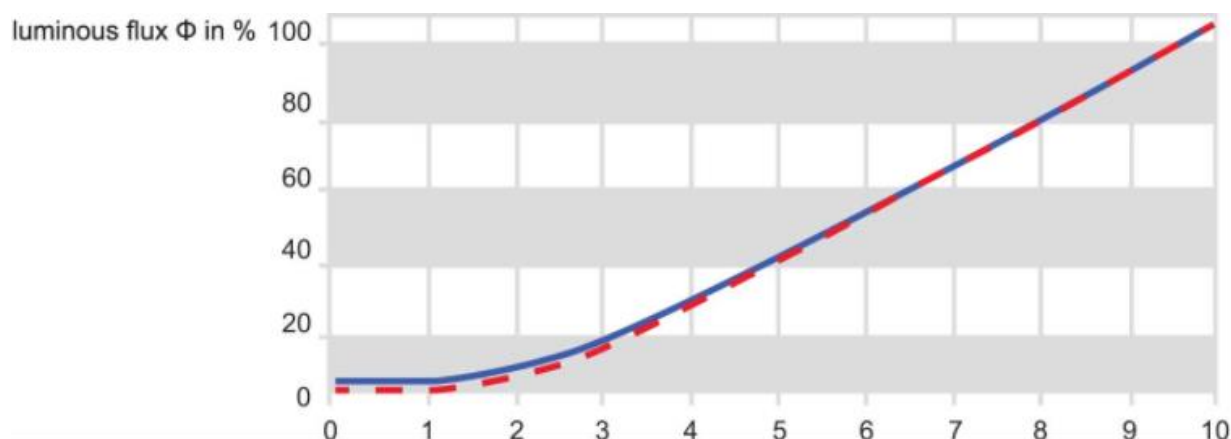
V této podkapitole budou podrobněji rozebrány nejčastěji používané systémy při regulaci VO. Základní dva typy těchto systému můžeme rozlišovat na *analogové* a *digitální*. V současné době převládají spíše digitální systémy regulace. [10]

5.2.1 Systém 1-10 V

Patří mezi analogové systémy regulace. Umožňuje regulovat světelný tok od 10 % do 100 % jeho hodnoty. Děje se tak pomocí zaslání signálu pomocí dvou vodičů. Ty mají různou polaritu, což se musí brát na zřetel při instalaci systému. Analogový signál má stejnosměrné napětí od hodnoty 1 V do 10 V. 1 V nám dává minimální hodnotu, naopak 10 V nám dává maximální úroveň světelného toku. Mezinárodní norma IEC 60929 definuje regulační křivku, která určuje vztah mezi napájecím napětím a světelným tokem. Mezi 3 V a 10 V je tato závislost lineární, jak lze vidět na obrázku č. 5-2. [10]

Proud musí být od 10 μ A do 20 mA. Nejnižší proud je pro maximální napětí 10 V, naopak nejvyšší proud pro hodnotu 1 V. Tento systém je jednosměrný, informace tečou jen jedním směrem od ovladače ke svítidlu. Druhý směrem se negeneruje žádná zpětná vazba. Systém tedy nemůže být řízen softwarem.

Pokles napětí v kabeláži je omezen její délkou. Ta je omezena počtem připojených ovládacích zařízení, jenž určí proud a také průřez kabelu. [10]



Obrázek č. 5-2 – Křivka světelného toku v závislosti na napětí signálu, norma IEC 60929 [10]

5.2.2 DALI

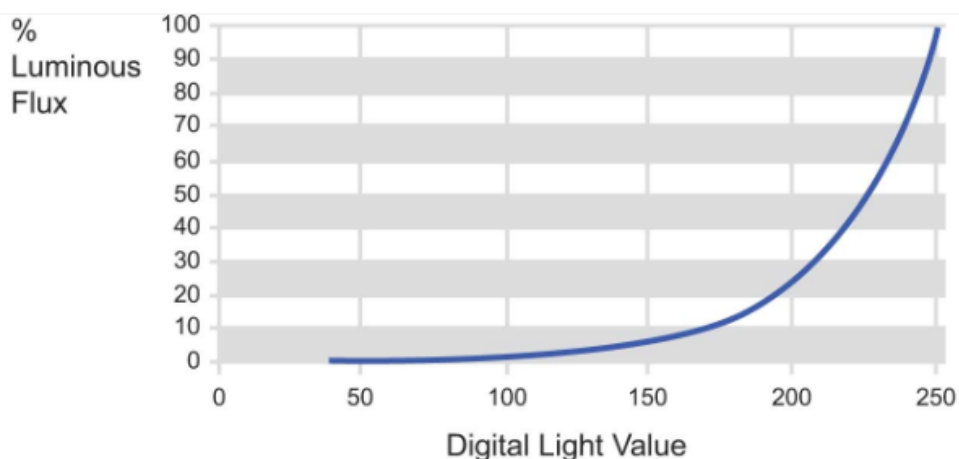
Patří do skupiny digitálních stmívacích systémů, které mění signál pro stmívání na bity a regulují osvětlení v digitálním formátu.

Jak už napovídá zkratka **D**igital **A**ddresable **L**ighting **I**nterface, DALI je digitální a adresované komunikační rozhraní pro světelné systémy. Je to obousměrné stmívající rozhraní. Informace proudí od ovladače k zařízením, která plní zadané příkazy. Druhým směrem proudí také příkazy nebo odpovědi k obdržným požadavkům.

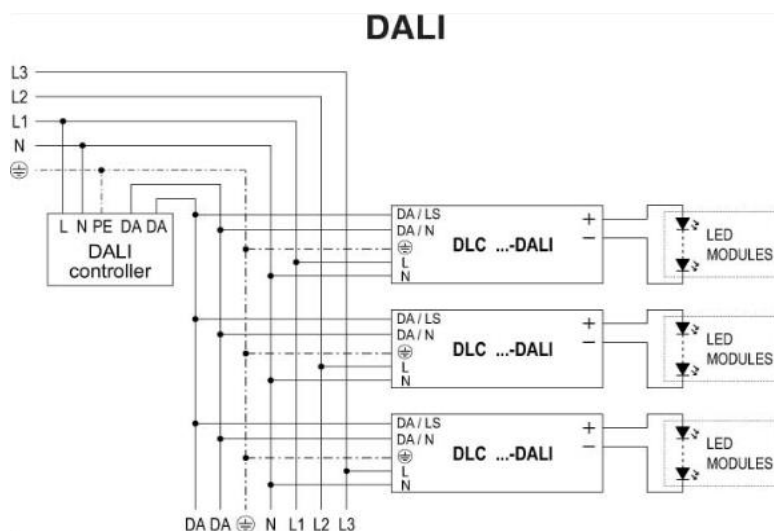
Digitální signál je přenášen přes sběrnici nebo přes dva vodiče. Ty mohou být polarizovány kladně nebo záporně, ovšem většina řídicích zařízení je navrhována tak, aby na polaritě nezáleželo a zapojení bylo jednodušší. Není zde potřeba žádných speciálních ochranných kabelů ani mechanického relé, které by přepínaly mezi stavy zapnuto/vypnuto, to vše je dáno příkazy. DALI nabízí jednoduchost s ohledem na kabeláž a velkou flexibilitu při návrhu světelných soustav. Maximální pokles napětí nesmí být větší než 2 V s nejvyšším možným proudem sběrnice o hodnotě 250 mA. Maximální vzdálenost vedení závisí na průřezu kabelu, ale nesmí za žádných okolností překročit 300 metrů. [10]

Po zapojení je systém nakonfigurován softwarem. Může se zde vytvořit až 16 různých scénářů, adresovaných individuálně až do maximálně 64 adres. Konfigurace se může kdykoliv změnit bez potřeby opětovného zapojení. Regulační křivka je nastavena na citlivost lidského oka, regulační rozsah je nastaven od 0,1 % do 100 %. Minimum určují výrobci driverů.

DALI lze použít i do jednoduchých aplikací k regulaci svítidla nebo malé místnosti. [10]



Obrázek č. 5-3 – Regulační křivka systému DALI podle normy IEC 62386 [10]



Obrázek č. 5-4 – Schéma stmívání pomocí systému DALI [10]

5.2.3 Integrated Dynadimmer

Tento systém vyvinutý firmou Philips umožňuje dopředu naprogramované víceúrovňové stmívání. Je schopen nastavení až 5 různých levelů stmívání a časových intervalů. Driver nemá skutečné hodiny, jen virtuální, které jsou nastaveny počtem hodin, které musí v noci fungovat. Po zopakování 3 cyklů zapnuto/vypnuto si driver vypočítá tento virtuální čas. Jak lze vidět na obrázku č.5-5, právě po těchto třech cyklech, tzn. od čtvrtého dne nabírá profil jiných hodnot v závislosti na výpočtu. [11]

Při změně času zapnutí osvětlení o více než jednu hodinu, například ze zapnutých 8 hodin na 5 hodin, potřebuje driver opět 3 cykly, aby se „naučil“ novou dobu svícení. Při změně doby zapnutí menší nebo rovné jedné hodině si driver zprůměruje poslední 3 časy zapnutí a vypočítá si virtuální hodiny. Zůstane aktivní a postupně se adaptuje na nový režim. [11]



Obrázek č. 5-5 – Nastavení virtuálního času systému Dynadimmer [11]

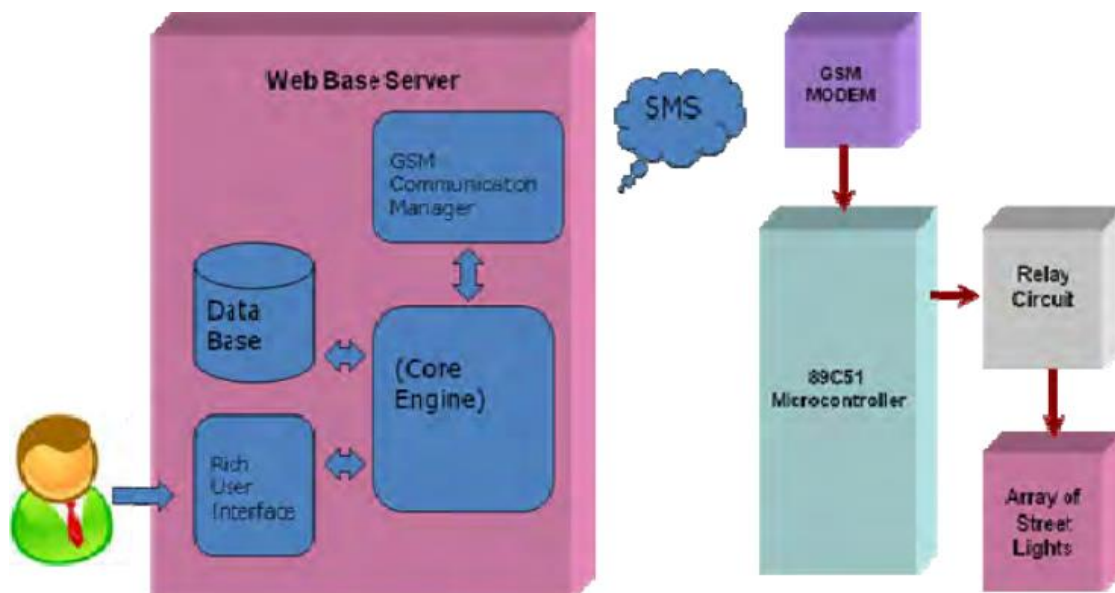


Obrázek č. 5-6 - Xitanium programovatelný LED driver Philips, 75 W [11]

5.2.4 GMS (z franc. Group Spécial Mobile)

Neboli globální systém pro mobilní komunikaci, je automatizovaný systém, který se využívá pro zvýšení účinnosti zapínáním a vypínáním světel veřejného osvětlení. Skládá se z mikroovladače, který se podle časového nastavení zapíná/vypíná a posílá aktualizaci na specifikované telefonní číslo. Jsou vždy dva moduly, a to jeden na straně klienta a druhý na straně serveru. Strana klienta se skládá z GSM modemu a je dále připojena k mikrokontroléru a obvodu relé (relay circuit). Na straně serveru je JAVA webový server, jehož jádro (core engine) spolupracuje s uživatelem, databází a GSM komunikačním manažerem. Grafické znázornění je vidět na obrázku č. 5-7. [12]

Systém pro regulaci umožňuje uživateli přímo ovlivňovat a regulovat veřejné osvětlení jakéhokoliv místa daného úseku. Když chceme zapnout/vypnout určitou pouliční lampu, server pošle GSM zprávu k regulátoru, který ji dekoduje, najde tu určitou lampu a vykoná zadanou akci. V současné rychle se rozvíjející době plně chytrých telefonů je toto elegantní a chytré řešení systému regulace veřejného osvětlení. [12]



Obrázek č. 5-7 – Schéma fungování GMS regulace [12]

5.2.5 Astro hodiny

S pomocí astro hodin je možné vypínat a zapínat zařízení v požadovaný denní / noční čas, díky čemuž se zredukuje ztráty výkonu a ušetří se ještě větší množství energie. Potřeba automatizace je v systému kvůli přesnému zapínání světel při západu Slunce a vypínání světel při východu Slunce.

Typické možnosti regulace pro osvětlovací systém: [13]

- manuální vypínání/zapínání pomocí obsluhy
- topologie světelného senzoru – vyžaduje použití externího senzoru, aby detekoval hodnoty intenzity osvětlení a podle nich zapínal/vypínal světla. Je ovšem náchylný na znečištění, a tím se hodně snižuje jeho přesnost. Je tím pádem velmi náročný na údržbu a také nákladný v porovnání s ostatními podobnými systémy.
- tradiční hodiny, které si uživatel sám podle potřeby naprogramuje
- časový spínač s astronomickou výhodou – pokročilý mikrokontrolér navržený speciálně pro venkovní aplikace. Dokáže vypnout/zapnout světla s ohledem na východ nebo západ Slunce. Tohle zvládne na základě zeměpisné výšky a šířky dané lokace. Tato data jsou uložena v mikroprocesorovém čipu.

Pro model Astro (druhý zleva na obrázku č. 5-8) lze také nastavit vypínání světel při začátku svítání, a naopak zapínání až při konci soumraku, což se může lišit v řádech desítek minut od klasického západu a východu Slunce. I těchto pár minut dokáže poté v delším časovém intervalu ušetřit velké množství elektrické energie. A jelikož už je dostatečné světlo, není tím ani ohrožena bezpečnost v obci/městě. Na obrázku č. 5-8 můžeme vidět další různá provedení astro hodin. [13]



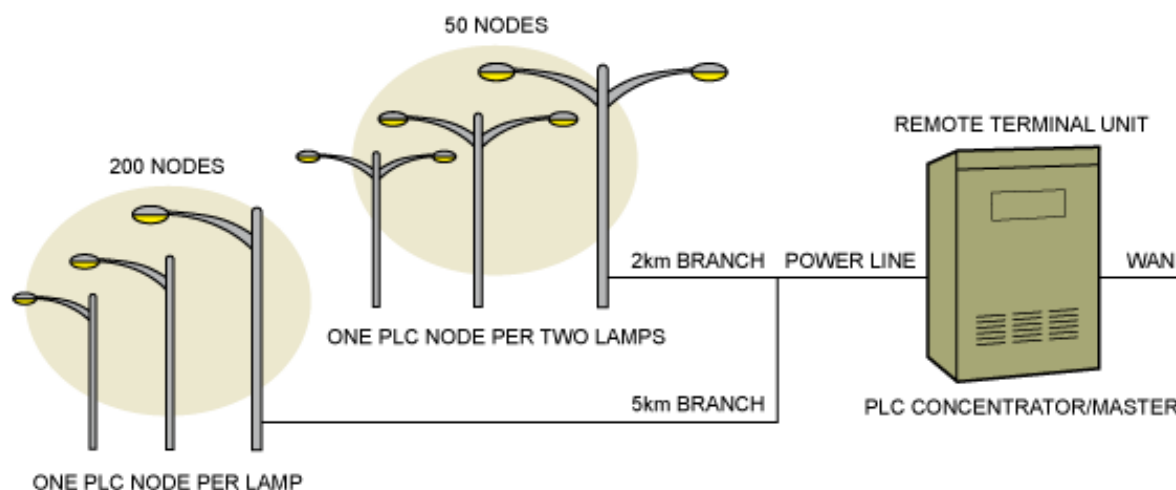
Obrázek č. 5-8 – Různá provedení astro hodin [13]

5.2.6 Powerline Communications (PLC)

PLC umožňuje zredukovat provozní ztráty a zlepšit bezpečnost. Výhody poskytuje v monitorování dopravy, řízení stmívání světel pomocí hustoty dopravy, spoření během noci a svítání/soumraku, dokáže také oznámit poruchy a určit, kde se nacházejí a také sleduje skutečnou spotřebu elektrické energie.

Typická topologie veřejného osvětlení je na obrázku č. 5-9. Je to modem s WAN bezdrátovým spojením 2G/ 3G, který komunikuje se sítí modemů nebo uzlů (nodes), což reguluje každou lampu. Dosah PLC modemu určuje počet uzlů, s kterými může PLC koncentrátor přímo komunikovat. Čím vyšší je počet uzlů, tím je systém účinnější. [14]

Dosah komunikace po vedení je ovlivněn několika faktory jako větve, které rozdělují výkon signálu nebo útlumem, který má jinou frekvenci. Další faktor je také zapínání výkonových zdrojů nebo jiných spotřebičů na lince. Důležitá pro zachování základních vlastností signálu je také imunita vůči šumu systému.



Obrázek č. 5-9 – Příklad typické sítě veřejného osvětlení řízené pomocí PLC [14]

Začleněním směrovacích schopností do uzlů lze vytvořit síť, která umožňuje uzlům připojeným ke koncentrátoru rozšířit tuto síť do od něj vzdálenějších uzlů. Takovým způsobem tento systém dokáže rozšířit síť a pořád ji dokáže obsluhovat jeden koncentrátor. Jelikož je síť veřejného osvětlení pouze jednokanálová a vede ze sítě do koncentrátoru, předávané zprávy musejí procházet jedním nebo více sdílenými spoji, což je problém. [14]

Mezi další systémy regulace patří například ještě regulace pomocí pulsní šířkové modulace (PWM) nebo rádiových vln.

6 REGULACE SVĚTELNÝCH ZDROJŮ

V této kapitole je popsáno praktické měření pěti světelných zdrojů, které se používají při regulaci veřejného osvětlení. Každé z těchto měření probíhalo v laboratorních podmínkách, obvody byly napájeny ze sítě přes autotransformátor a napětí se regulovalo pomocí stmívače INTELUX – NG. Dané světelné zdroje se nechaly klidně i hodinu svítit, aby se hodnoty světelného toku ustálily, a až poté se mohlo začít postupně snižovat napětí až na takové hodnoty, které dané zdroje zvládly bez zhasnutí. Vyhodnocení měření probíhalo v programu JETI LiVal, kde se zaznamenávaly všechny potřebné parametry, zde bylo možné také vidět jaká barevná spektra dané zdroje vyzařují a jak se tato spektra postupně od rozsvícení mění a ustalují.

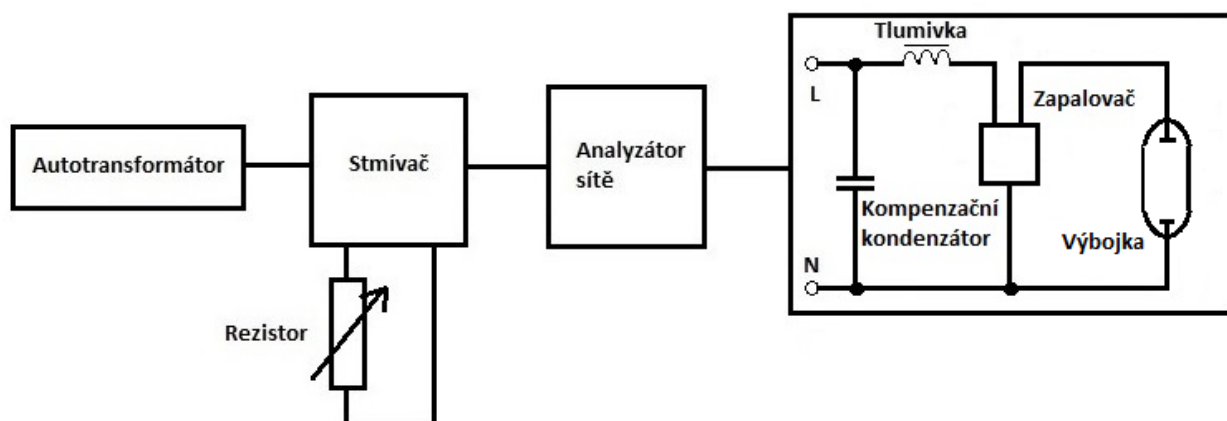
Pro všechna měření v podkapitolách 6.1. – 6.5. byly použity stejné přístroje (a program), a to:

- Autotransformátor 0-250 V, typ RA 10
- Měřič Energy Logger 4000 Voltcraft
- Stmívač Intelux NG
- Rezistor Metra Blansko
- Analyzátor sítě SMP 44 3x400/230 URMS/ 15 APK
- Tlumivka vždy speciálně pro každý světelný zdroj podle výkonu
- PC
- Program JETI LiVal V.6.2.0
- Spektroradiometr Jti Specbos 1211 UV

6.1 Vysokotlaká sodíková výbojka

Regulace probíhala s vysokotlakou sodíkovou výbojkou od firmy Philips o příkonu 70 W. Jednalo se o nejčastěji používaný světelný zdroj u veřejného osvětlení. Výbojka byla během měření téměř bez problémů stabilní. Napětí se podařilo zregulovat až na hodnotu 164 V, což bylo procentně 71,6 % z původního napětí sítě.

6.1.1 Schéma zapojení



Obrázek č. 6-1 – Schéma zapojení VT sodíkové výbojky při regulaci napájecího napětí

6.1.2 Tabulky naměřených a vypočítaných hodnot

U	P ₀	φ _z	P _s	ΔP	T _C	m _z	η
(V)	(W)	(lm)	(W)	(W)	(K)	(lm/W)	(%)
229,0	83,7	5496	96,2	12,5	1893	57,1	87,0
223,0	76,6	4883	90,1	13,5	1892	54,2	85,0
220,0	74,3	4619	87,9	13,6	1891	52,5	84,5
214,0	70,8	4233	84,0	13,2	1884	50,4	84,3
209,0	68,0	3876	80,2	12,2	1881	48,3	84,8
205,0	64,7	3590	77,8	13,1	1880	46,1	83,2
200,0	61,0	3160	74,3	13,3	1877	42,5	82,1
194,0	58,2	2862	71,3	13,1	1870	40,1	81,6
188,0	54,9	2572	67,8	12,9	1867	37,9	81,0
182,5	51,5	2205	64,3	12,8	1863	34,3	80,1
176,5	48,3	1890	61,1	12,8	1854	30,9	79,1
173,0	47,0	1734	59,8	12,8	1846	29,0	78,6
169,5	44,9	1576	57,6	12,7	1843	27,4	78,0
164,0	42,3	1404	55,1	12,8	1838	25,5	76,8

Tabulka č. 6-1 - Naměřené a vypočítané hodnoty z měření regulace VT sodíkové výbojky

U	P ₀	φ _z	P _s	T _C	m _z
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(lm/W)
100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
97,4	91,5	88,8	93,7	100,0	94,9
96,1	88,8	84,0	91,4	99,9	92,0
93,4	84,6	77,0	87,3	99,6	88,2
91,3	81,2	70,5	83,4	99,4	84,6
89,5	77,3	65,3	80,9	99,3	80,8
87,3	72,9	57,5	77,2	99,2	74,4
84,7	69,5	52,1	74,1	98,8	70,3
82,1	65,6	46,8	70,5	98,7	66,4
79,7	61,5	40,1	66,8	98,4	60,0
77,1	57,7	34,4	63,5	98,0	54,1
75,5	56,2	31,6	62,2	97,5	50,8
74,0	53,6	28,7	59,9	97,4	47,9
71,6	50,5	25,5	57,3	97,1	44,6

Tabulka č. 6-2 - Přepočítané hodnoty z tabulky č. 6-1 na hodnoty relativní

6.1.3 Seznam použitých veličin

U	napětí sítě	(V)
P _s	celkový příkon soustavy	(W)
ΔP	ztráty výkonu	(W)

P_0	příkon světelného zdroje a předřadníku	(W)
ϕ_z	vyzářený světelný tok	(lm)
T_c	náhradní teplota chromatičnosti	(K)
m_z	měrný výkon zdroje včetně svítidla	(lm/W)
η	účinnost předřadníku	(%)

6.1.4 Příklady výpočtů

- měrný výkon:

$$m_z = \frac{\phi_z}{P_s} = \frac{3876}{80,2} \text{ lm/W} = 48,3 \text{ lm/W}$$

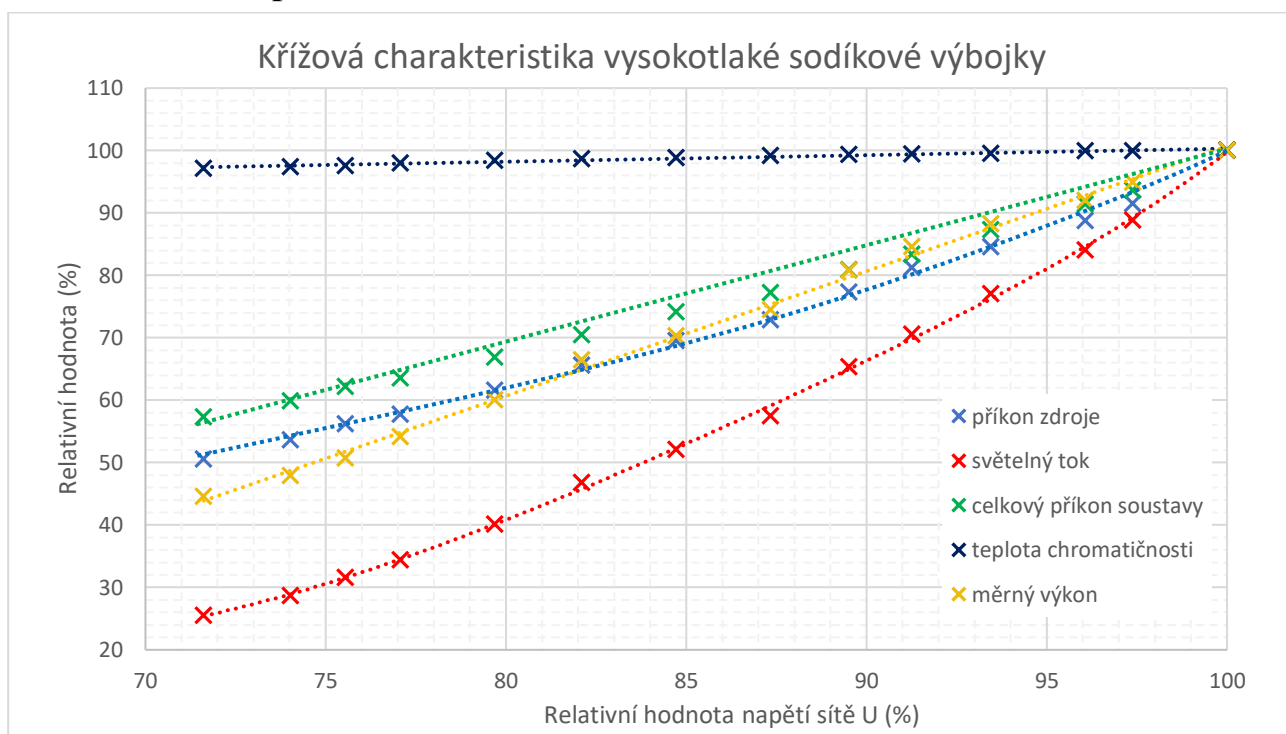
- ztráty výkonu:

$$\Delta P = P_s - P_0 = 80,2 - 68,0 = 12,2 \text{ W}$$

- účinnost předřadníku:

$$\eta = \frac{P_0}{\Delta P + P_0} \cdot 100 = \frac{P_0}{P_s} \cdot 100 = \frac{68,0}{80,2} \cdot 100 \% = 84,8 \%$$

6.1.5 Grafické zpracování



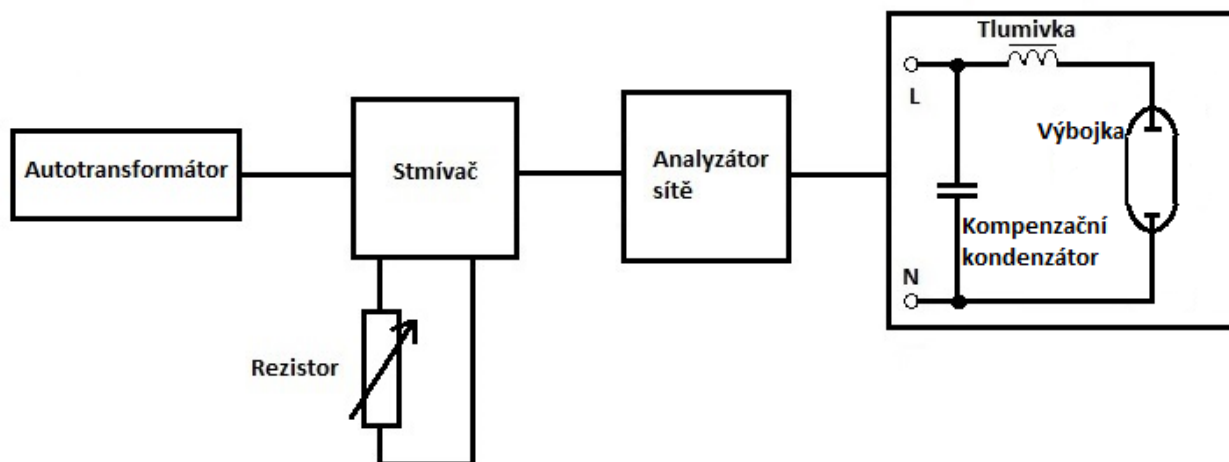
Obrázek č. 6-2 - Křížová charakteristika vysokotlaké sodíkové výbojky, Osram 70 W

6.2 Vysokotlaká rtuťová výbojka

Další měření bylo se rtuťovou vysokotlakou výbojkou od firmy Philips HPL-N o příkonu 80 W. Toto měření muselo proběhnout nadvakrát, jelikož při prvním měření nebyla výbojka pořádně zahořená, což způsobovalo, že výboj by velmi nestabilní a hodnoty nebyly použitelné. Ani druhé měření neproběhlo podle představ, jelikož hodnota napětí při regulaci této výbojky měla dosáhnout až 200 V. Regulovaný světelný zdroj ovšem zhasnul už při postupném snižování napětí na hodnotě

214 V. Hodnoty světelného toku a teploty chromatičnosti v tabulce č. 6-3 jsou průměry dané veličiny při ustálení napětí během šesti až osmi minut.

6.2.1 Schéma zapojení



Obrázek č. 6-3 – Schéma zapojení VT rtuťové výbojky při regulaci napájecího napětí

6.2.2 Tabulky naměřených a vypočtených hodnot

U	P ₀	φ _z	P _s	ΔP	T _c	m _z	η
(V)	(W)	(lm)	(W)	(W)	(K)	(lm/W)	(%)
229,8	93,4	3818	118,1	24,7	4084	32,3	79,1
224,9	87,9	3600	112,2	24,3	4089	32,1	78,3
218,2	80,5	3207	103,8	23,3	4093	30,9	77,5
214,0	76,1	2990	99,3	23,2	4089	30,1	76,6

Tabulka č. 6-3 – Hodnoty z měření vysokotlaké rtuťové výbojky

U	P ₀	φ _z	P _s	T _c	m _z
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(lm/W)
100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
97,9	94,0	94,3	95,0	100,1	99,2
95,0	86,1	84,0	87,9	100,2	95,6
93,1	81,4	78,3	84,1	100,1	93,1

Tabulka č. 6-4 – Přepočítané hodnoty z tabulky č. 6-3 na hodnoty relativní

6.2.3 Seznam použitých veličin

U	napětí sítě	(V)
P _s	celkový příkon soustavy	(W)
P ₀	příkon světelného zdroje a předřadníku	(W)
ΔP	ztráty výkonu	(W)
φ _z	vyzařený světelný tok	(lm)
T _c	náhradní teplota chromatičnosti	(K)

m_z	měrný výkon zdroje včetně svítidla	(lm/W)
η	účinnost předřadníku	(%)

6.2.4 Příklady výpočtů

- měrný výkon světelného zdroje včetně svítidla:

$$m_z = \frac{\phi_z}{P_s} = \frac{3818}{118,1} \text{ lm/W} = 32,3 \text{ lm/W}$$

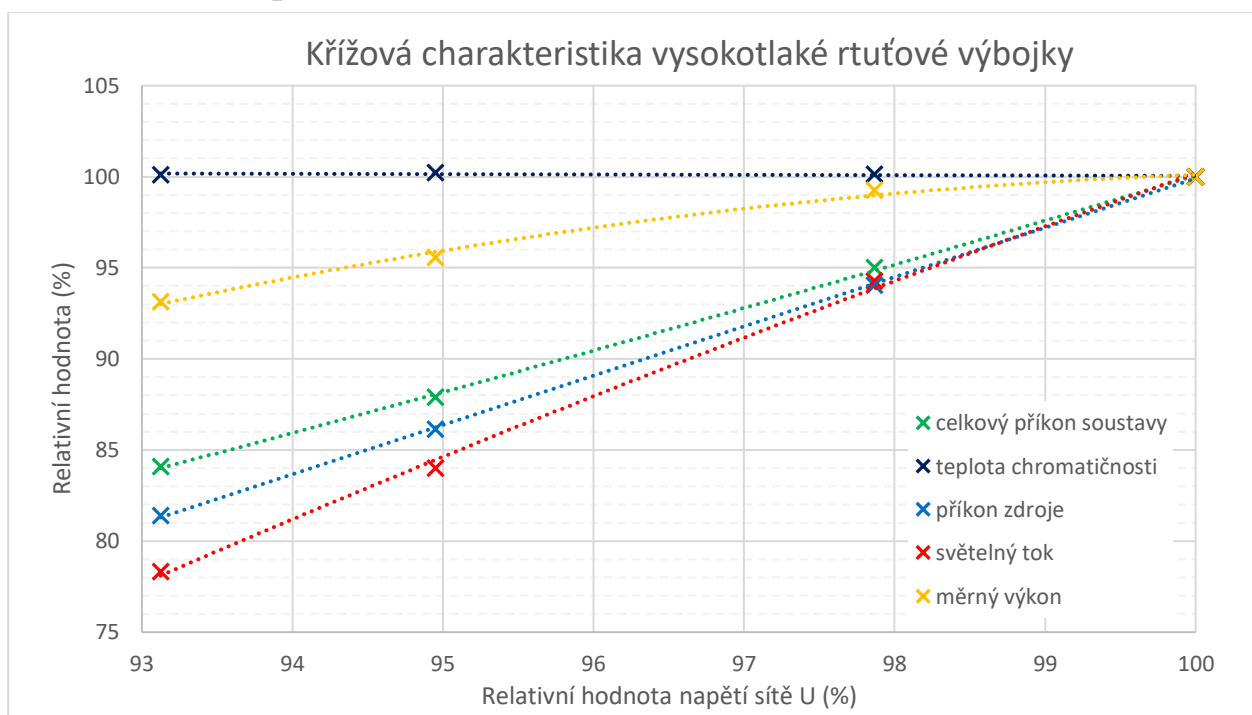
- ztráty výkonu:

$$\Delta P = P_s - P_0 = 118,1 - 93,4 = 24,7 \text{ W}$$

- účinnost předřadníku:

$$\eta = \frac{P_0}{\Delta P + P_0} \cdot 100 = \frac{P_0}{P_s} \cdot 100 = \frac{93,4}{118,1} \cdot 100 \% = 79,1 \%$$

6.2.5 Grafické zpracování

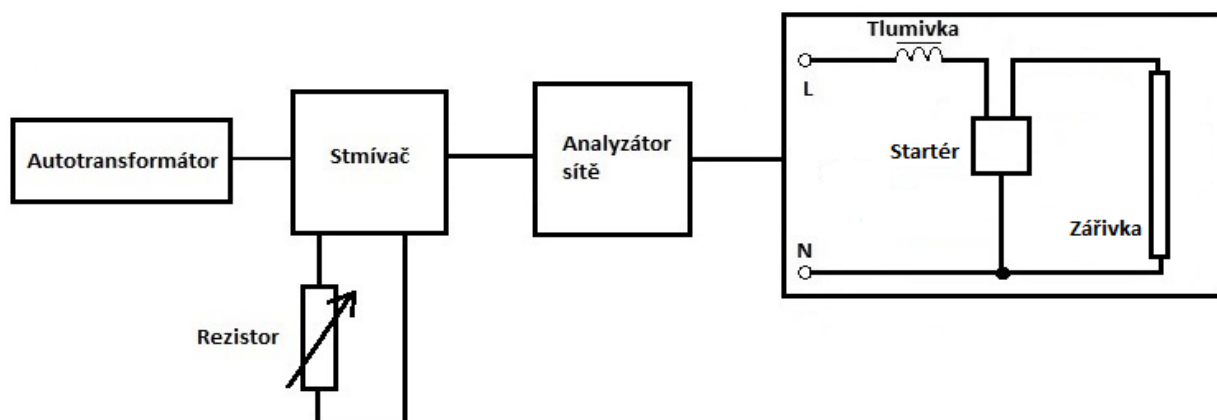


Obrázek č. 6-4 – Křížová charakteristika vysokotlaké rtuťové výbojky, Phillips 80 W

6.3 Zářivka

Měření regulace zářivky probíhalo se světelným zdrojem od firmy Osram L36W / 840 Cool White o příkonu 36 W.

6.3.1 Schéma zapojení



Obrázek č. 6-5 – Schéma zapojení zářivky při regulaci napájecího napětí

6.3.2 Tabulky naměřených a vypočtených hodnot

U	P _{0ž}	P _{0z}	P _C	P _S	ΔP	φ _Z	T _C	m _Z	η
(V)	(W)	(W)	(W)	(W)	(W)	(lm)	(K)	(lm/W)	(%)
229,8	77,9	40,1	138,3	60,4	20,3	2989	4222	49,5	66,4
222,7	74,3	37,2	131,6	57,3	20,1	2857	4190	49,9	64,9
220,1	72,9	36,3	129,4	56,5	20,2	2777	4203	49,2	64,2
214,2	70,0	33,9	123,7	53,7	19,8	2657	4201	49,5	63,1
209,7	67,5	31,9	119,3	51,8	19,9	2543	4198	49,1	61,6
205,0	65,5	29,9	115,0	49,5	19,6	2403	4196	48,5	60,4
201,6	65,5	28,2	111,3	45,8	17,6	2250	4200	49,1	61,6
196,4	61,3	25,4	105,6	44,3	18,9	2053	4207	46,3	57,3
193,5	59,7	23,3	102,1	42,4	19,1	1911	4204	45,1	55,0

Tabulka č. 6-5 – Naměřené a vypočtené hodnoty z měření zářivky

U	P _{0z}	φ _Z	P _S	T _C	m _Z
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(lm/W)
100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
96,9	92,8	95,6	94,9	99,2	100,8
95,8	90,5	92,9	93,5	99,5	99,3
93,2	84,5	88,9	88,9	99,5	100,0
91,3	79,6	85,1	85,8	99,4	99,2
89,2	74,6	80,4	82,0	99,4	98,1
87,7	70,3	75,3	75,8	99,5	99,3
85,5	63,3	68,7	73,3	99,6	93,6
84,2	58,1	63,9	70,2	99,6	91,1

Tabulka č. 6-6 – Přepočtené hodnoty z tabulky č. 6-5 na hodnoty relativní

6.3.3 Seznam použitých veličin

U	napětí sítě	(V)
P_S	celkový příkon soustavy	(W)
$P_{0ž}$	příkon žárovky	(W)
P_{0Z}	příkon zářivky	(W)
P_C	celkový příkon včetně autotransformátoru	(W)
ϕ_Z	vyzařený světelný tok	(lm)
T_C	náhradní teplota chromatičnosti	(K)
m_z	měrný výkon zdroje	(lm/W)
η	účinnost předřadníku	(%)

6.3.4 Příklady výpočtů

- celkový výkon soustavy:

$$P_S = P_C - P_{0ž} = 123,7 - 70 \text{ W} = 53,7 \text{ W}$$

- měrný výkon světelného zdroje včetně svítidla:

$$m_Z = \frac{\phi_Z}{P} = \frac{2657}{53,7} \text{ lm/W} = 49,5 \text{ lm/W}$$

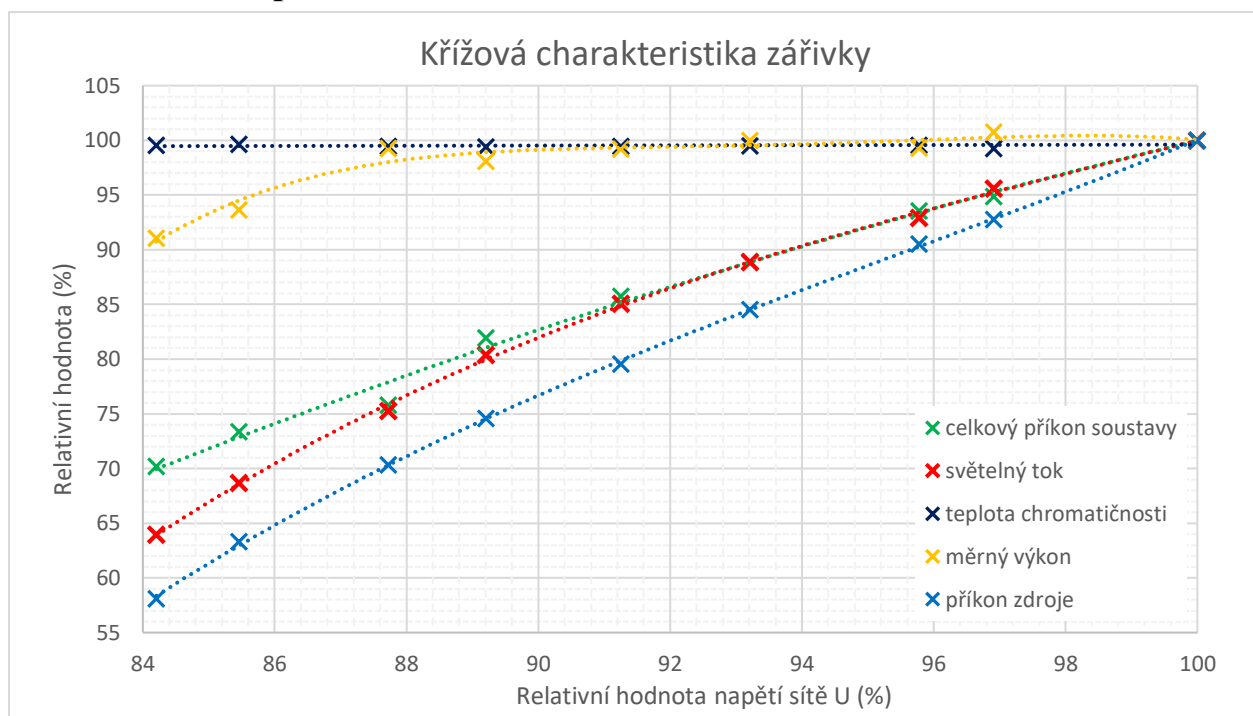
- ztráty výkonu:

$$\Delta P = P_S - P_0 = 53,7 - 33,9 = 19,8 \text{ W}$$

- účinnost předřadníku:

$$\eta = \frac{P_0}{\Delta P + P_0} \cdot 100 = \frac{P_0}{P} \cdot 100 = \frac{33,9}{53,7} \cdot 100 \% = 63,1 \%$$

6.3.5 Grafické zpracování

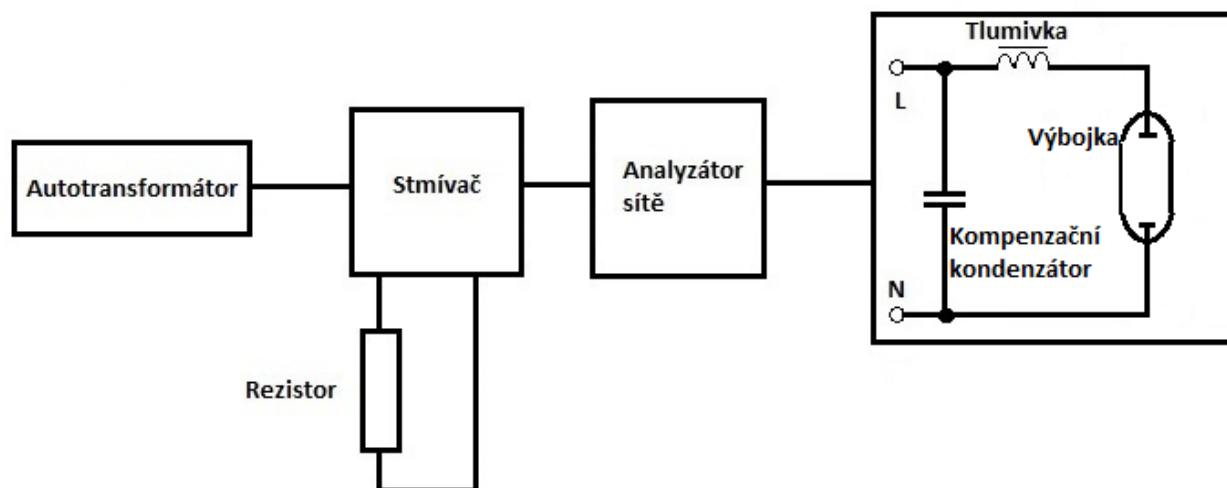


Obrázek č. 6-6 – Křížová charakteristika zářivky, 36 W Osram

6.4 Sodíková vysokotlaká výbojka (náhrada rtuťové vysokotlaké)

Měření a snižování napětí se provádělo pro světelný zdroj od firmy Osram s příkonem 68 W, patící E27 typu NAV E. Jak je již napsáno v názvu podkapitoly, tato výbojka se používá jako náhrada vysokotlaké rtuťové výbojky. Její výhodou je stabilnější světelný tok, tj. svícení bez problikávání a také možnost regulace až do 200 V.

6.4.1 Schéma zapojení



Obrázek č. 6-7 – Schéma zapojení VT sodíkové výbojky při regulaci napájecího napětí

6.4.2 Tabulky naměřených a vypočtených hodnot

U	P ₀	φ _z	P _s	ΔP	T _c	m _z	η
(V)	(W)	(lm)	(W)	(W)	(K)	(lm/W)	(%)
229,3	85,5	6857	109,8	24,3	1861	62,4	77,9
221,8	76,7	6083	100,9	24,2	1861	60,3	76,0
219,8	73,8	5694	97,7	23,9	1860	58,3	75,5
215,0	69,5	5271	93,3	23,8	1858	56,5	74,5
210,5	63,9	4639	88,7	24,8	1855	52,3	72,1
204,5	60,1	4114	83,4	23,3	1849	49,3	72,1
201,0	57,3	3807	80,4	23,1	1848	47,4	71,3

Tabulka č. 6-7 – Naměřené a vypočtené hodnoty z měření regulace VT sodíkové výbojky

U	P ₀	φ _z	P _s	T _c	m _z
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(lm/W)
100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
96,7	89,7	88,7	91,9	100,0	96,5
95,9	86,3	83,0	89,0	99,9	93,3
93,8	81,3	76,9	85,0	99,8	90,5
91,8	74,7	67,7	80,8	99,7	83,7
89,2	70,3	60,0	76,0	99,4	79,0
87,7	67,0	55,5	73,2	99,3	75,8

Tabulka č. 6-8 – Přepočítané hodnoty z tabulky č. 6-7 na hodnoty relativní

6.4.3 Seznam použitých veličin

U	napětí sítě	(V)
P _s	celkový příkon soustavy	(W)
P ₀	celkový příkon zdroje a tlumivky	(W)
φ _z	vyzařený světelný tok	(lm)
T _c	náhradní teplota chromatičnosti	(K)
m _z	měrný výkon zdroje	(lm/W)
η	účinnost předřadníku	(%)

6.4.4 Příklady výpočtů

- měrný výkon světelného zdroje včetně celého svítidla:

$$m_z = \frac{\phi_z}{P_s} = \frac{6857}{109,8} \text{ lm/W} = 62,4 \text{ lm/W}$$

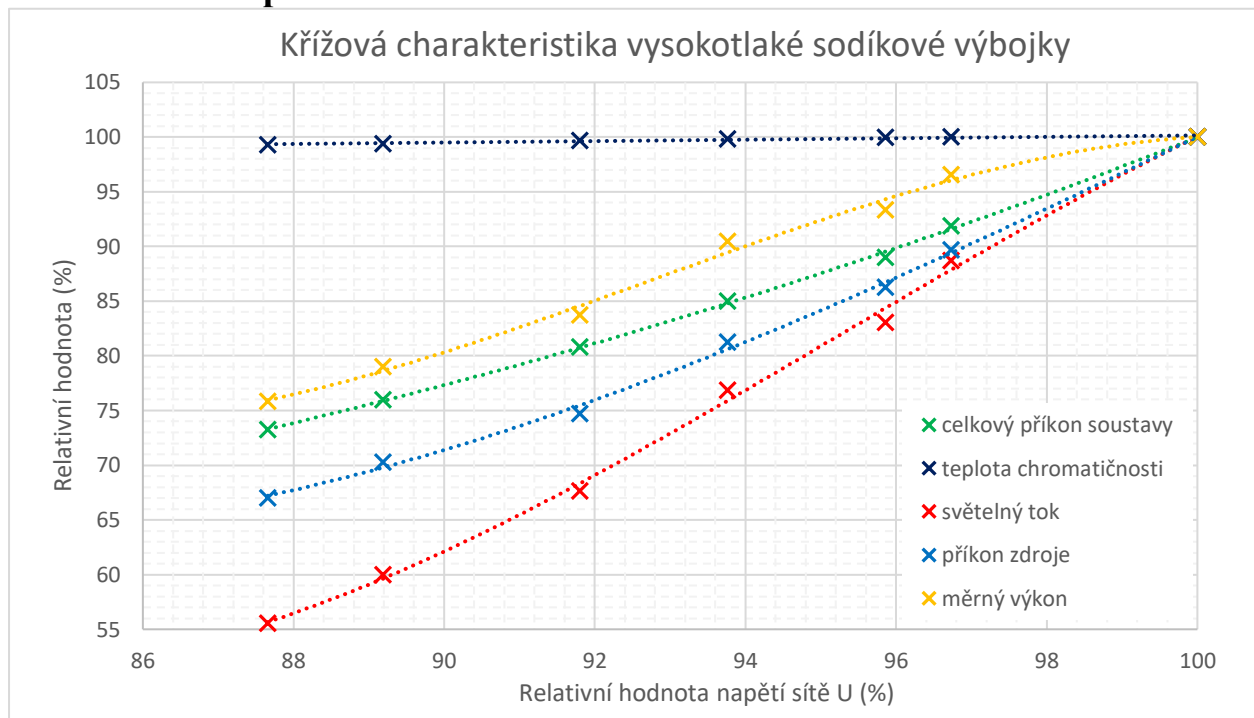
- ztráty výkonu:

$$\Delta P = P_s - P_0 = 109,8 - 85,5 = 24,3 \text{ W}$$

- účinnost předřadníku:

$$\eta = \frac{P_0}{\Delta P + P_0} \cdot 100 = \frac{P_0}{P_S} \cdot 100 = \frac{85,5}{109,8} \cdot 100 \% = 77,9 \%$$

6.4.5 Grafické zpracování

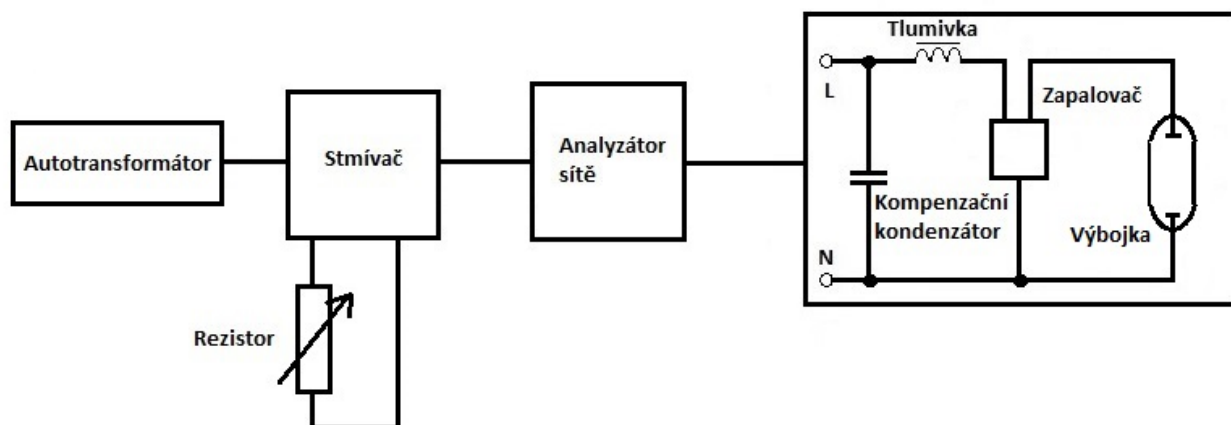


Obrázek č. 6-8 – Křížová charakteristika VT sodíkové výbojky, 68 W Osram

6.5 Halogenidová výbojka

Měření probíhalo se světelným zdrojem Osram Powerstar s příkonem 100 W. Tato výbojka šla regulovat spolu s VT sodíkovou výbojkou nejlépe. Napětí se snižovalo až na hodnotu 183,3 V, což je lehce přes 80 % z původní hodnoty napětí.

6.5.1 Schéma zapojení



Obrázek č. 6-9 – Schéma zapojení při regulaci halogenidové výbojky

6.5.2 Tabulky naměřených a vypočtených hodnot

U	P ₀	φ _z	P _s	ΔP	T _c	m _z	η
(V)	(W)	(lm)	(W)	(W)	(K)	(lm/W)	(%)
228,6	103,3	7228	129,8	26,5	4528	55,7	79,6
223,6	98,3	6689	124,5	26,2	4590	53,7	79,0
219,0	93,2	6138	118,2	25,0	4714	51,9	78,8
212,8	85,7	5302	111,1	25,4	4794	47,7	77,1
210,1	82,6	5035	107,4	24,8	4814	46,9	76,9
205,2	78,1	4687	102,3	24,2	5013	45,8	76,3
200,1	73,4	4270	97,3	23,9	5125	43,9	75,4
194,7	67,9	3731	91,8	23,9	5369	40,6	74,0
188,5	63,2	3221	85,9	22,7	5425	37,5	73,6
183,3	58,4	2763	80,9	22,5	5726	34,2	72,2

Tabulka č. 6-9 – Naměřené a vypočtené hodnoty z měření regulace halogenidové výbojky

U	P ₀	φ _z	P _s	T _c	m _z
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(lm/W)
100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
97,8	95,2	92,5	95,9	101,4	96,5
95,8	90,2	84,9	91,1	104,1	93,3
93,1	83,0	73,4	85,6	105,9	85,7
91,9	80,0	69,7	82,7	106,3	84,2
89,8	75,6	64,8	78,8	110,7	82,3
87,5	71,1	59,1	75,0	113,2	78,8
85,2	65,7	51,6	70,7	118,6	73,0
82,5	61,2	44,6	66,2	119,8	67,3
80,2	56,5	38,2	62,3	126,5	61,3

Tabulka č. 6-10 – Přepočtené hodnoty z tabulky č. 6-9 na relativní hodnoty

6.5.3 Seznam použitých veličin

U	napětí sítě	(V)
P _s	celkový příkon soustavy	(W)
P ₀	celkový příkon zdroje, zapalovače a tlumivky	(W)
φ _z	vyzařený světelný tok	(lm)
T _c	náhradní teplota chromatičnosti	(K)
m _z	měrný výkon zdroje	(lm/W)
η	účinnost předřadníku	(%)

6.5.4 Příklady výpočtů

- měrný výkon světelného zdroje včetně celého svítidla:

$$m_z = \frac{\phi_z}{P_s} = \frac{7228}{129,8} \text{ lm/W} = 55,7 \text{ lm/W}$$

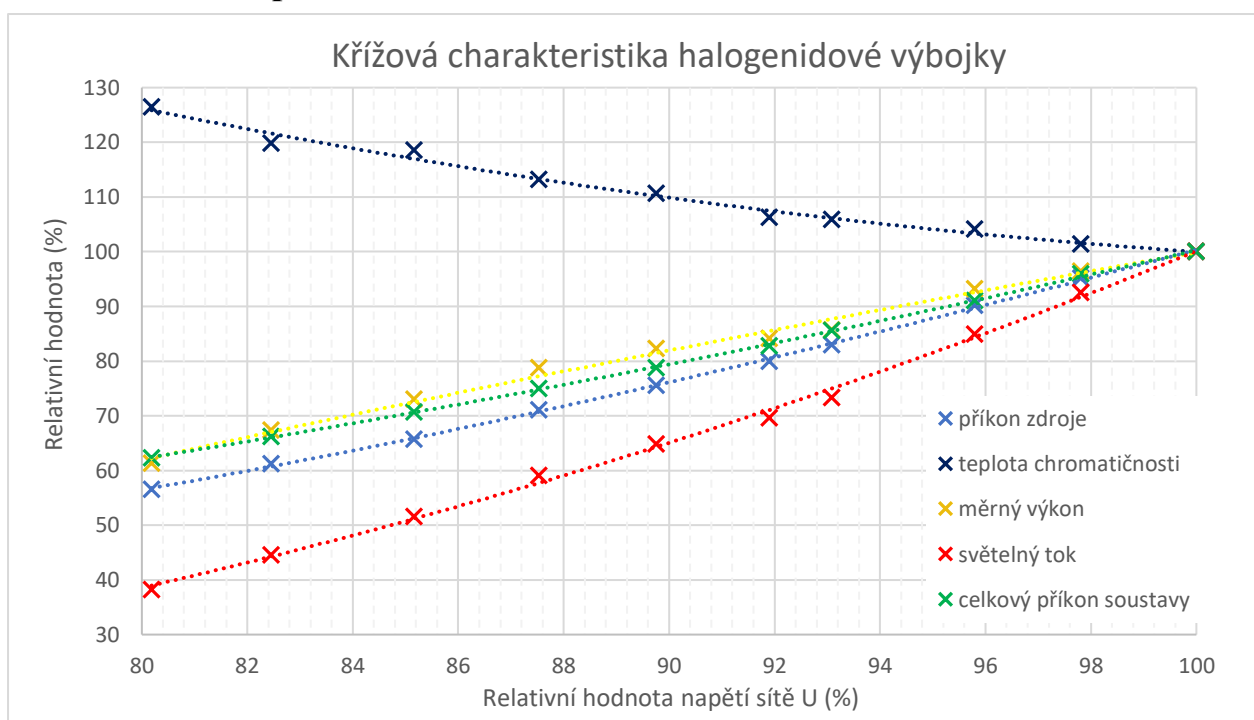
- ztráty výkonu:

$$\Delta P = P_s - P_0 = 129,8 - 103,3 = 26,5 \text{ W}$$

- účinnost předřadníku:

$$\eta = \frac{P_0}{\Delta P + P_0} \cdot 100 = \frac{P_0}{P_s} \cdot 100 = \frac{103,3}{129,8} \cdot 100 \% = 79,6 \%$$

6.5.5 Grafické zpracování

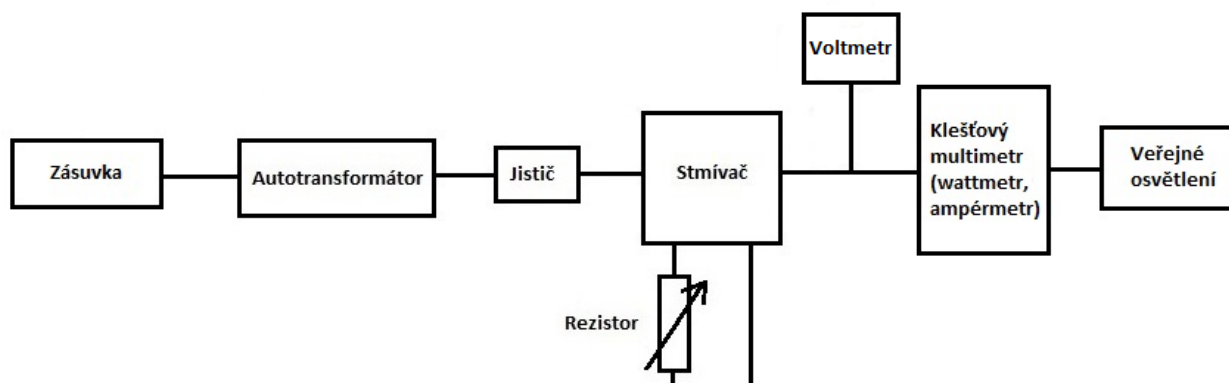


Obrázek č. 6-10 – Křížová charakteristika halogenidové výbojky, Osram 100 W Powerstar

6.6 Regulace vysokotlakých sodíkových výbojek v obci Bezděkov

Praktické měření stmívání proběhlo ve čtvrtek 11. 5. 2017 v obci Bezděkov, která se nachází v kraji Vysočina, přibližně 20 kilometrů od Havlíčkova Brodu. V obci jsou instalovány a používány vysokotlaké sodíkové výbojky. Měření probíhalo na hlavní cestě v centru obce, kde se podle normy vyznačila síť bodů a v nich se měřila intenzita osvětlení těsně nad zemí. Proběhla celkem tři kompletní měření, a to pro hodnoty napětí 230 V, 210 V a 190 V.

6.6.1 Schéma zapojení



Obrázek č. 6-11 – Schéma zapojení pro měření v obci Bezděkov

6.6.2 Normy

O veřejném osvětlení, výběru tříd osvětlení, požadavcích, výpočtech a způsobech měření pojednávají normy ČSN CEN/TR 13201-1 a dále ČSN EN 13201-2, 3 a 4. Právě s těmito normami se budou porovnávat hodnoty intenzity osvětlení naměřené v obci při měření osvětlenosti.

6.6.2.1 Světelná situace a třída osvětlení

V první řadě se musí určit, o jakou skupinu světelné situace v dané obci jde. Základní parametry, které jsou sledovány:

- typická rychlost hlavního uživatele – rychlost chůze, 5-30 km/h, 30–60 km/h, nad 60 km/h
- hlavní uživatel – motorová doprava, velmi pomalá vozidla, cyklisté nebo chodci
- další povolený uživatel
- nepovolený uživatel

Pro naši obec bude platit typická rychlost uživatele 30-60 km/h, hlavní uživatelé budou motorová vozidla a velmi pomalá vozidla, další povolení uživatelé jsou cyklisté a chodci. Z tabulky v normě ČSN CEN/TR 13201-1 se podle těchto informací vybere skupina světelné situace B1.

Výběr třídy osvětlení probíhá vždy pro danou světelnou situaci. Ke každé situaci jsou v normě tabulky, podle kterých se postupně dostaneme až k výběru třídy osvětlení. Pro naši obec a světelnou situaci B1 se budou uvažovat tyto předpoklady: [15]

- není zde konfliktní oblast
- je zde běžná složitost zorného pole
- vyskytují se zde parkující vozidla
- jas okolí je malý
- intenzita provozu cyklistů je běžná

Z první tabulky v normě se poté získá informace o značce, která bude důležitá pro určení třídy osvětlení. Pro druhou tabulku se bude předpokládat, že v místě měření převládá suché počasí,

nejdou zde žádné stavební opatření ke zklidnění dopravy, počet křižovatek na jeden kilometr je zde menší než 3 a nakonec, že intenzita silničního provozu za jeden den je menší než 7000. [15]

Z těchto informací se zjišťuje, že třída osvětlení pro danou měřenou ulici bude ME 5 a pomocí tabulky pro porovnání tříd osvětlení to odpovídá také třídám osvětlení MEW 5, CE 5 (vztahující se na řidiče motorových vozidel a jiné uživatele v konfliktních oblastech) a třídě S 3. [15]

Třídy osvětlení S jsou určeny pro chodce a cyklisty pohybující se po ostatních částech pozemních komunikací. V tabulce č. 6-11 lze vidět hodnoty pro určité třídy osvětlení a jim odpovídající hodnoty průměrné osvětlenosti \bar{E} a minimální osvětlenosti E_{\min} . Vidíme, že pro naši třídu S3 by měla být hodnota průměrné osvětlenosti rovna nebo být větší než 7,5 lx, a naopak minimální hodnota by se neměla dostat pod 1,5 lx. [17]

Třída	Vodorovná osvětlenost	
	$\bar{E}(\text{lx})^a$ (udržovaná hodnota)	$E_{\min}(\text{lx})$ (udržovaná hodnota)
S1	≥ 15	≥ 5
S2	≥ 10	≥ 3
S3	$\geq 7,5$	$\geq 1,5$
S4	≥ 5	≥ 1
S5	≥ 3	$\geq 0,6$
S6	≥ 2	$\geq 0,6$
S7	neurčeno	Neurčeno
^a Pro dosažení dostatečné rovnoměrnosti osvětlení nesmí vypočítaná hodnota \bar{E} přesáhnout 1,5 násobek hodnoty \bar{E} uvedené v tabulce.		

Tabulka č. 6-11 – Hodnoty osvětlenosti pro třídy osvětlení S [16]

6.6.2.2 Měření osvětlenosti

Pro měření je potřeba mít zkalibrovaný luxmetr, pro orientační měření toto není potřeba. Jelikož se neměřila poloválcová nebo polokulová osvětlenost, stačila k měření pouze obyčejná fotometrická hlava. Během měření je samozřejmě důležité, aby osoby provádějící měření neclonily dopadajícím světlu, jelikož by byly výsledky znehodnocené. [18]

Pro vodorovnou osvětlenost je důležité, aby byla rovina povrchu fotometrické hlavy vodorovná a byla umístěna na zemi. Tam, kde to není možné, může být hlava umístěna až do výšky 20 cm nad zemí. Tato skutečnost se musí zaznamenat do protokolu. [18]

6.6.2.3 Poloha výpočtových bodů

Pro ověření, zda vybraná ulice nebo obec splňuje dané normy, je důležité správně si navolit výpočtové body. Ty se volí přesně podle normy ČSN EN 13201-3. Musí být rovnoměrně uspořádány a jejich počet se určí pomocí následujících vzorců. [17]

- Podélný směr:

$$D = \frac{S}{N}, \quad (6.1)$$

kde D je rozteč mezi body v podélném směru (m), S je rozteč svítidel (m) a N je počet výpočtových bodů v podélném směru. Když je rozteč svítidel menší než 30 metrů, poté $N = 10$. Naopak když

bude rozteč svítidel větší než 30 metrů, bude počet bodů nejmenší celé číslo, které splňuje podmínku, že rozteč bodů bude menší nebo rovno 3 metrům. [17]

- Příčný směr:

$$d = \frac{W_r}{n}, \quad (6.2)$$

kde d je rozteč mezi body v příčném směru (m), W_r je šířka komunikace (m) a n je počet bodů v příčném směru, jejichž hodnota je větší nebo rovna 3 a nejmenším číslem, které dává $d \leq 1,5$ m. [17]

V našem případě byly dvě lampy od sebe vzdáleny vždy 30 metrů, to znamená celková vzdálenost 60 m, z čehož nám podle rovnice 6.1 vyplývá přesně 20 výpočtových bodů v podélném směru. Šířka vozovky byla 5 metrů, proto byly v příčném směru použity 3 body, vzdáleny od sebe 1,67 m, z čehož jeden byl uprostřed vozovky (rovnice 6.2). Na obrázku č. 6-12 pod tabulkami lze vidět rozložení výpočtových bodů v našem případě. Čísly 1, 2 a 3 jsou označeny lampy veřejného osvětlení. Dále zde lze vidět právě vzdálenost jednotlivých bodů v příčném nebo podélném směru.

6.6.3 Naměřené a vypočítané hodnoty:

Z tabulek č. 6-12, 6-13 a 6-14 zjistíme minimální hodnoty intenzity osvětlení, poté vypočítáme průměrné hodnoty intenzity osvětlení. Tyto hodnoty se porovnají s normou v tabulce č. 6-11. Nakonec se může vypočítat také rovnoměrnost osvětlení, která je poměrem minimální a průměrné hodnoty osvětlenosti. Při měření se také zaznamenával výkon celé soustavy a protékající proud. Výpočty jsou pro všechna tři měření stejná a jsou uvedena za tabulkami a mapou výpočtových bodů.

6.6.3.1 Měření pro napětí 230 V

E (lx)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	46,20	28,04	18,17	9,72	4,58	2,92	5,94	10,98	19,04	32,40
2	30,32	18,21	8,81	5,28	3,22	3,41	6,42	12,32	18,25	27,76
3	13,47	9,27	4,78	2,89	2,43	3,09	5,37	7,96	9,94	14,07
E (lx)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	37,42	22,42	11,64	6,84	3,84	7,86	14,37	19,97	28,04	34,39
2	23,64	16,80	8,28	4,63	3,57	5,78	9,32	11,85	23,50	30,03
3	13,89	9,94	5,14	3,84	2,54	3,48	4,36	6,58	13,20	16,06

Tabulka č. 6-12 – Naměřené hodnoty intenzity osvětlení pro napětí 230 V

Maximální hodnota osvětlenosti: 46,20 lx

Minimální hodnota osvětlenosti: 2,43 lx

Průměrná hodnota osvětlenosti: 13,14 lx

Rovnoměrnost osvětlenosti: 0,185

Příkon soustavy: 2,59 kW

Proud soustavy: 12,05 A

6.6.3.2 Měření pro napětí 210 V

E (lx)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	32,33	19,12	12,12	6,67	3,01	1,89	4,08	8,15	13,40	22,60
2	20,40	12,34	6,78	3,87	2,37	2,31	4,57	8,73	12,25	19,32
3	9,54	6,97	3,36	1,90	1,63	2,18	3,88	6,19	6,74	9,72
E (lx)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	26,16	15,26	7,74	4,42	2,72	5,74	10,39	14,37	20,24	24,38
2	19,45	10,75	5,36	2,92	2,41	4,12	6,56	8,61	17,26	22,73
3	10,37	6,79	3,60	1,95	1,77	2,51	3,36	5,17	9,02	12,42

Tabulka č. 6-13 – Naměřené hodnoty intenzity osvětlení pro napětí 210 V

Maximální hodnota osvětlenosti: 32,33 lx

Minimální hodnota osvětlenosti: 1,63 lx

Průměrná hodnota osvětlenosti: 9,28 lx

Rovnoměrnost osvětlenosti: 0,176

Příkon soustavy: 2,05 kW

Proud soustavy: 10,8 A

6.6.3.3 Měření pro napětí 190 V

E (lx)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	21,13	13,50	8,45	4,49	2,04	1,22	2,56	4,99	8,43	14,17
2	13,03	8,82	4,25	2,53	1,65	1,50	2,93	5,58	7,94	12,31
3	6,76	5,14	2,32	1,31	1,11	1,37	2,35	3,83	4,24	6,20
E (lx)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	15,75	9,31	4,75	2,66	1,66	3,54	6,46	8,72	12,40	15,24
2	11,60	6,47	3,18	1,82	1,54	2,62	3,89	5,29	10,80	14,18
3	6,41	4,02	2,04	1,20	1,13	1,51	2,07	3,17	5,92	7,90

Tabulka č. 6-14 – Naměřené hodnoty intenzity osvětlení pro napětí 190 V

Maximální hodnota osvětlenosti: 21,13 lx

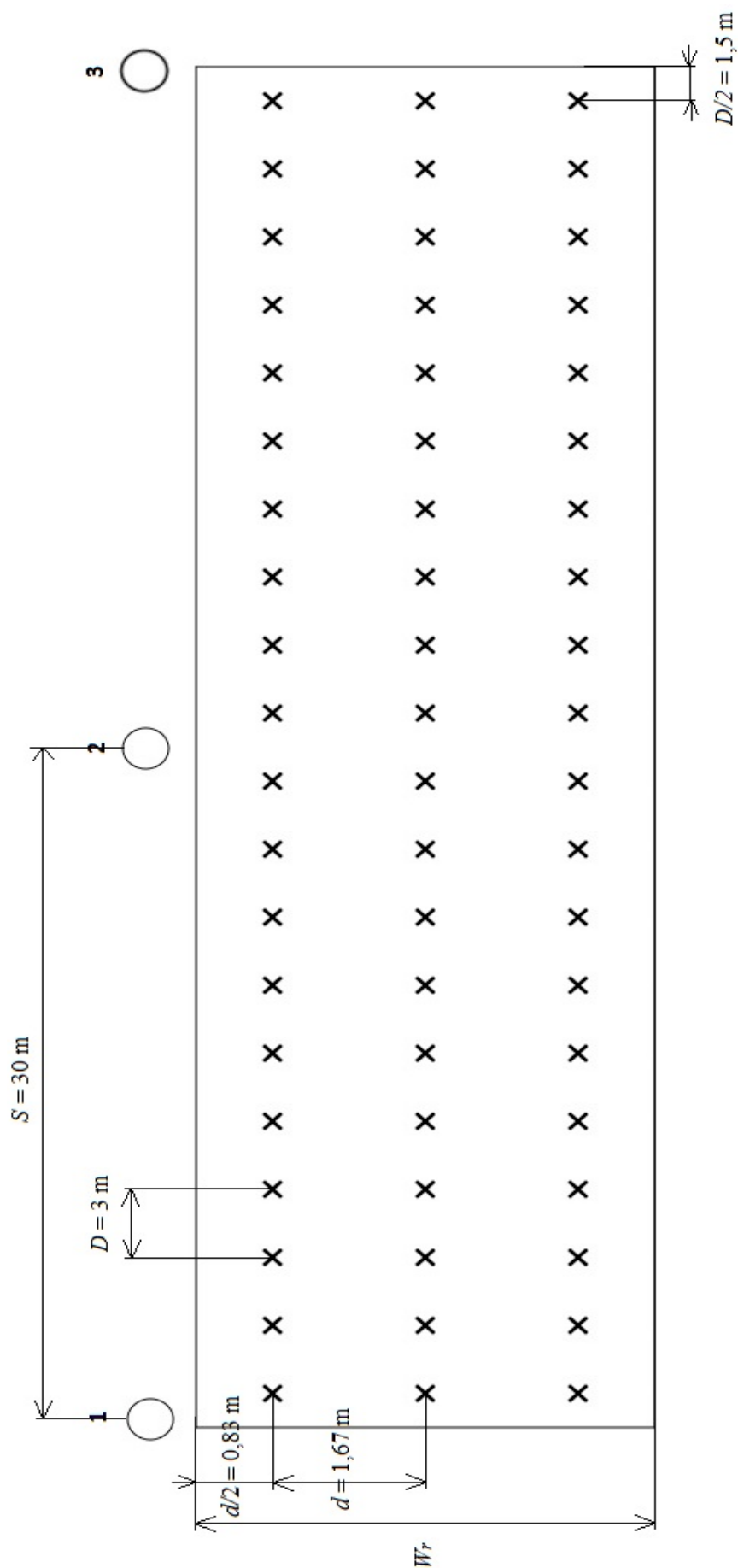
Minimální hodnota osvětlenosti: 1,11 lx

Průměrná hodnota osvětlenosti: 5,89 lx

Rovnoměrnost osvětlenosti: 0,188

Příkon soustavy: 1,45 kW

Proud soustavy: 10,2 A



Obrázek č. 6-12 – Znázornění výpočtových bodů pro měřenou ulici, podle [17]

6.6.4 Příklady výpočtů

- rozteč bodů v podélném směru:

$$D = \frac{S}{N} = \frac{30}{10} m = 3 m$$

- rozteč bodů v příčném směru:

$$d = \frac{W_r}{n} = \frac{5}{3} m = 1,67 m$$

- průměrná hodnota intenzity osvětlení pro napětí 190 V:

$$E_{PR} = \frac{\Sigma E}{n} = \frac{353,4}{60} = 5,89 lx$$

- rovnoměrnost osvětlení pro napětí 190 V:

$$r = \frac{E_{MIN}}{E_{PR}} = \frac{1,11}{5,89} = 0,188$$

7 ZÁVĚR

V současnosti se technologie v jakémkoliv oboru zlepšují každým rokem, a to platí samozřejmě i u světelné techniky. To nahrává tomu, že se člověk bude snažit v tomto oboru co nejvíce, aby optimalizoval výrobu, používal co nejkvalitnější materiály a také chránil životní prostředí. Nezanedbatelnou část také tvoří ekonomická stránka. Pro veřejné osvětlení tato fakta znamenají změny, kdy se nahrazují zdroje za takové, které vykazují menší spotřebu elektrické energie, větší měrný výkon a velkou účinnost přeměny elektrické energie. Z hlediska životního prostředí to je upadání rtuťových výbojek, které obsahují toxickou látku a jsou tedy zatěžovatelem životního prostředí.

V této bakalářské práci jsem se zabýval praktickou regulací různých typů světelných zdrojů nejčastěji používaných při regulaci veřejného osvětlení. Výstupem jsou poté křížové charakteristiky daných zdrojů, což jsou závislosti světelně technických veličin a parametrů na napájecím napětí, vše v relativních hodnotách. Dalším výstupem práce je zhodnocení stavu osvětlovací soustavy v obci Bezděkov, v okrese Havlíčkův Brod, kde proběhlo v nočních hodinách měření a regulace VT sodíkových výbojek.

Při měření v laboratoři bylo zajímavé sledovat, jak různé světelné zdroje reagují na regulaci. Zdroje jako vysokotlaká sodíková nebo halogenidová výbojka byly schopné zvládnout snížení napětí až na 70 % hodnoty síťového napětí, vysokotlaká rtuťová výbojka na druhé straně zhasla opakovaně už na hodnotě kolem 93 % hodnoty napětí 230 V. Tato výbojka byla také nejméně stabilní, světelný tok se během měření hodně měnil, takže hodnoty v tabulce jsou průměry parametrů za časový interval několika minut při ustálení napětí na určité hodnotě.

Při porovnání parametrů světelných zdrojů se bude vycházet z křížových charakteristik. Teplota chromatičnosti u všech zdrojů lehce klesala s napětím, pouze u halogenidové výbojky vystoupala až na téměř 130 % původní hodnoty. Příkon výbojky kromě zářivky zase u všech zdrojů klesal lineárně s napětím. Pouze v uvedeném případě se snižoval logaritmicky, klesal tedy rychleji.

Světelný tok u zářivky a VT rtuťové výbojky klesal logaritmicky, tedy nejvíce strmě, u VT sodíkových výbojek klesal pozvolna, a to exponenciálně. Při regulaci halogenidové výbojky klesal světelný tok lineárně s napájecím napětím.

Měrný výkon se zmenšoval u VT sodíkových výbojek a halogenidové výbojky lineárně. U VT rtuťové výbojky klesal logaritmicky, jelikož u ní klesá rychleji světelný tok než u ostatních zdrojů. U zářivky byl skoro konstantní až do hodnoty napětí 200 V, až poté začal lineárně klesat. Poslední sledovanou veličinou byl příkon celé soustavy, jenž se u všech regulovaných světelných zdrojů zmenšoval lineárně.

Na měření v Bezděkově vyšlo hezké počasí, proto výsledky nebyly nějak ovlivněny mlhou nebo deštěm, jenž by znehodnotil měření s ohledem na mokrou vozovku.

Pro napětí 230 V v podkapitole 6.6.3.1. lze vidět, že hodnota průměrné osvětlenosti přesahuje hodnotu 7,5 lx, která je pro tuto určitou světelnou skupinu určena jako minimální. Ovšem dodatek normy říká, že by zase neměla být větší než 1,5 násobek dané hraniční hodnoty, což odpovídá 11,25 lx. Z tohoto hlediska je průměrná osvětlenost 13,14 lx moc vysoká a normě tedy nevyhovuje. Minimální hodnota je vyšší než normou stanovené minimum 1,5 lx, a to 2,43 lx.

Pro hodnotu 210 V jsou splněny obě hranice normy s průměrnou hodnotou 9,28 lx a minimální osvětleností 1,63 lx.

Pro napětí zregulované na hodnotu 190 V lze ovšem vidět problém, jelikož průměrná hodnota nedosahuje ani zdaleka požadovaným 7,5 lx a je pouze 5,89 lx. Minimální hodnota je také pod minimální hranicí, jenž je stanovena normou, a to 1,11 lx. V tomto případě tedy není splněna norma ani v jednom případě. Už podle vizuálního pohledu při měření bylo vidět, že vozovka uprostřed mezi lampami není dostatečně osvětlena, což také měření potvrdilo.

Pro zlepšení stávající situace by bylo vhodné použít buď výbojky o větším příkonu, které by poté vozovku lépe osvětlily nebo upravit geometrii svítidla, aby se světlo více lámalo směrem dolů na cestu a méně do okolního prostoru. Řešením je samozřejmě v neposlední řadě také návrh celé nové osvětlovací soustavy, ovšem i pro obec, kde žije pouze přes 250 obyvatel by taková akce byla velice nákladná.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HABEL, Jiří, Karel DVOŘÁČEK, Vladimír DVOŘÁČEK a Petr ŽÁK. *Světlo a osvětlování*. Praha: FCC Public, 2013. ISBN 9788086534213.
- [2] LIBRA, Martin, Jan ŠTĚRBA a Ilona BLÁHOVÁ. Fyzikální podstata světla. *Světlo* [online]. Praha: FCC Public, 2000, 3.(04/2000) [cit. 2016-11-16]. ISSN 1212-0812. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/casopis/tema/fyzikalni-podstata-svetla--16967>
- [3] SOKANSKÝ, Karel. *Světelná technika*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 9788001049419.
- [4] Regulace veřejného osvětlení. *Veřejné světlo* [online]. Praha/Zlín, 2015c [cit. 2016-12-17]. Dostupné z: <https://www.verjnesvetlo.cz/regulace-verejneho-osvetleni/>
- [5] DVOŘÁČEK, Vladimír. Světelné zdroje: Vysokotlaké sodíkové výbojky. *Světlo* [online]. Praha: FCC Public, 2009, 11.(2009/03), 40-42 [cit. 2016-12-18]. ISSN 1212-0812. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/39197.pdf>
- [6] SOKANSKÝ, Karel. *Světelná technika* [online]. Praha: ČVUT Praha, 2011 [cit. 2016-12-18]. ISBN 978-80-01-04941-9. Dostupné z: http://k315.feld.cvut.cz/CD_MPO/CVUT-6-Svetelna.pdf
- [7] OSRAM: Produkty [online]. Praha, c2016 [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: <http://www.osram.cz/produkty>
- [8] Cree First to Break 300 Lumens-Per-Watt Barrier. *Cree* [online]. Durham, NC: Cree, c2017 [cit. 2017-06-02]. Dostupné z: <http://www.cree.com/news-media/news/article/cree-first-to-break-300-lumens-per-watt-barrier>
- [9] SOKANSKÝ, Karel. *Potenciál energetických úspor veřejného osvětlení v ČR* [online]. Ostrava: Česká společnost pro osvětlení, 2007 [cit. 2017-05-31]. ISBN 978-1-4799-3806-3. Dostupné z: http://www.csorsostrava.cz/publikace/Potencial_energetickych_uspor_VO_v_CR.pdf
- [10] Different Dimming Types for LED lighting. *Arrant-Light: Arrant-Light Blog* [online]. Turku: Word Press, c2014 [cit. 2017-05-31]. Dostupné z: <http://www.light.fi/blog/different-dimming-types-for-led-lighting/>
- [11] *Design-in guide: Philips Xitanium programmable LED drivers*. 09/2012. Eindhoven, c2012. Dostupné také z: <https://static.webshopapp.com/shops/010100/files/003913526/philips-xitanium-programmable-led-drivers-design-i.pdf>
- [12] NATU, Omkar a S.A. CHAVAN. *International Journal on Computer Science and Engineering: GSM Based Smart Street Light Monitoring and Control System* [online]. Chennai: Engg Journals Publications, 2013, 5(3) [cit. 2017-05-31]. ISSN 0975-3397. Dostupné z: <http://www.enggjournals.com/ijcse/doc/IJCSE13-05-03-053.pdf>
- [13] *Astronomical Time Switches*. 002 / Feb 2013. Bombaj, c2013. Dostupné také z: http://www.larsentoubro.com/media/29108/level3_application-note-astronomical-time-switch.pdf
- [14] Powerline Communications for Street Lighting Automation. *Maxim Integrated* [online]. San Jose: Maxim Integrated, c2017 [cit. 2017-05-31]. Dostupné z: <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/5347>
- [15] ČSN CEN/TR 13201. *Osvětlení pozemních komunikací: Část 1: Výběr tříd osvětlení*. Praha: Český normalizační institut, c2007.
- [16] ČSN EN 13201-2. *Osvětlení pozemních komunikací: Část 2: Požadavky*. Praha: Český normalizační institut, c2005.

[17] ČSN EN 13201-3. *Osvětlení pozemních komunikací: Část 3: Výpočet*. Praha: Český normalizační institut, c2003.

[18] ČSN EN 13201-4. *Osvětlení pozemních komunikací: Část 4: Metody měření*. Praha: Český normalizační institut, c2005.